

10/5/145/  
PCT/JP03/05447

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

28.04.03

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 4月26日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-127066

[ ST.10/C ]:

[ JP2002-127066 ]

REC'D 20 JUN 2003

WIPO PCT

出 願 人

Applicant(s):

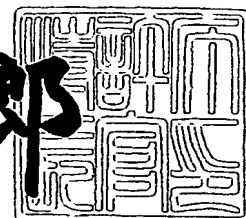
本田技研工業株式会社

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 6月 2日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3041528

【書類名】 特許願  
【整理番号】 PSK60521HW  
【提出日】 平成14年 4月26日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 B25J 5/00  
G05D 1/02

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研  
究所内

【氏名】 竹中 透

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研  
究所内

【氏名】 松本 隆志

【特許出願人】

【識別番号】 000005326

【氏名又は名称】 本田技研工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100077805

【弁理士】

【氏名又は名称】 佐藤 辰彦

【選任した代理人】

【識別番号】 100077665

【弁理士】

【氏名又は名称】 千葉 剛宏

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 015174

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9711295

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 脚式移動ロボットの自己位置推定装置及び自己姿勢推定装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】

目標動作を生成し、前記目標動作に追従する脚式移動ロボットにおいて、

- a) 前記ロボットの所定の部位の姿勢を検出あるいは推定する姿勢検出手段、
- b) 前記検出あるいは推定された姿勢と前記目標動作における前記所定の部位の姿勢との差ないしは前記差の変化速度の少なくともいずれかに基づいて、姿勢回転振動量ないしは姿勢回転速度振動量を決定する姿勢回転振動決定手段、
- c) 姿勢回転振動の回転中心を決定する回転中心決定手段、
- d) 目標動作に追従しているロボットが、あるいは目標動作通りの上体姿勢を維持しつつ、少なくとも関節変位検出値のとおり運動している前記ロボットが、前記回転中心まわりに前記回転振動量に相当する角度ないしは前記姿勢回転速度振動量に相当する角速度によって回転したと想定して、前記ロボットの接地（着地）位置ないしは所定の部位の位置の少なくともいずれかを推定する位置推定手段

を備えることを特徴とする脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

【請求項2】

目標動作を生成し、前記目標動作に追従する脚式移動ロボットにおいて、

- a) 前記ロボットの所定の部位の姿勢を検出あるいは推定する姿勢検出手段、
- b) 前記検出あるいは推定された姿勢と前記目標動作における前記所定の部位の姿勢との差ないしは前記差の変化速度の少なくともいずれかに基づいて、姿勢回転振動量ないしは姿勢回転速度振動量を決定する姿勢回転振動決定手段、
- c) 姿勢回転振動の回転中心を決定する回転中心決定手段、
- d) 目標動作に追従しているロボットが、あるいは目標動作通りの上体姿勢を維持しつつ、少なくとも関節変位検出値のとおり運動している前記ロボットが、前記回転中心まわりに前記回転振動量に相当する角度ないしは前記姿勢回転速度振動量に相当する角速度によって回転したと想定して、前記所定の部位あるいは全体重心の第1の推定位置を決定する幾何学的位置推定手段、

e)前記姿勢検出手段含まれる加速度検出手段ないしは前記ロボットの加速度を検出する加速度検出手段の少なくともいずれかの検出値と前記検出あるいは推定された姿勢を基に、慣性航法によって前記所定の部位あるいは全体重心の第2の推定位置を算出すると共に、少なくとも第1の推定位置と第2の推定位置との差を基に、第2の推定位置を補正する慣性航法的位置推定手段、  
を備えることを特徴とする脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

【請求項3】

目標動作を生成し、前記目標動作に追従する脚式移動ロボットにおいて、

- a)前記ロボットの所定の部位の姿勢を検出あるいは推定する姿勢検出手段、
- b)前記検出あるいは推定された姿勢と前記目標動作における前記所定の部位の姿勢との差ないしは前記差の変化速度の少なくともいずれかに基づいて、姿勢回転振動量ないしは姿勢回転速度振動量を決定する姿勢回転振動決定手段、
- c)姿勢回転振動の回転中心を決定する回転中心決定手段、
- d)目標動作に追従しているロボットが、あるいは目標動作通りの上体姿勢を維持しつつ、少なくとも関節変位検出値のとおり運動している前記ロボットが、前記回転中心まわりに前記回転振動量に相当する角度ないしは前記姿勢回転速度振動量に相当する角速度によって回転したと想定して、前記所定の部位あるいは全体重心の第1の推定位置を決定する幾何学的位置推定手段、
- e)前記姿勢検出手段含まれる加速度検出手段ないしは前記ロボットの加速度を検出する加速度検出手段の少なくともいずれかの検出値と前記検出あるいは推定された姿勢を基に、慣性航法によって前記所定の部位あるいは全体重心の第2の推定位置を算出すると共に、少なくとも第1の推定位置と第2の推定位置との差を基に、第2の推定位置を補正する慣性航法的位置推定手段、
- f)床反力を検出する床反力検出手段、
- g)少なくとも前記検出された床反力と前記検出あるいは推定された姿勢を基に、動力学演算によって前記所定の部位あるいは全体重心の第2の推定位置を算出すると共に、少なくとも第1の推定位置と第2の推定位置との差を基に、第2の推定位置を補正する動力学的位置推定手段、  
を備えることを特徴とする脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

【請求項4】

少なくとも、あらかじめ記憶しておいた地図上の床面や障害物などの対象物の位置情報と、ロボットの搭載されたビデオカメラ等の環境認識手段によって認識された前記対象物に対する前記ロボットの相対位置関係情報を基に、前記推定した位置姿勢を補正することを特徴とする請求項第1項から第3項いずれかに記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

【請求項5】

少なくとも、前記推定された位置姿勢とロボットの搭載されたビデオカメラ等の環境認識手段によって認識された対象物に対する前記ロボットの相対位置関係情報を基に、対象物の地図上の位置を推定する対象物位置推定手段、を備えたことを特徴とする請求項第1項から第4項いずれかに記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

【請求項6】

前記推定された位置姿勢とあらかじめ記憶しておいた地図上の床面や障害物などの対象物の位置を基に、ロボットの搭載されたビデオカメラ等の環境認識手段が注視すべき方向を決定する注視制御手段、を備えたことを特徴とする請求項第1項から第5項いずれかに記載の脚式移動ロボットの自己位置推定装置。

【請求項7】

目標動作を生成し、前記目標動作に追従する脚式移動ロボットにおいて、

- a) 前記ロボットの所定の部位の加速度を検出する加速度検出手段、
- b) 前記所定の部位の姿勢角速度を検出する姿勢角速度検出手段、
- c) 少なくとも前記検出された姿勢角速度を基に、前記所定の部位の姿勢を推定する姿勢検出手段、
- d) 前記推定された姿勢と前記目標動作における前記所定の部位の姿勢との差ないしは前記差の変化速度の少なくともいずれかに基づいて、姿勢回転振動量ないしは姿勢回転速度振動量を決定する姿勢回転振動決定手段、
- e) 姿勢回転振動の回転中心を決定する回転中心決定手段、
- f) 目標動作に追従しているロボットが、あるいは目標動作通りの上体姿勢を維持

しつつ、少なくとも関節変位検出値のとおり運動している前記ロボットが、前記回転中心まわりに前記回転振動量に相当する角度ないしは前記姿勢回転速度振動量に相当する角速度によって回転したと想定して、前記ロボットの接地（着地）位置ないしは前記所定の部位の位置の少なくともいずれかを推定する位置推定手段、

g) 前記位置推定手段が推定した位置を基に、前記ロボットの運動に伴う加速度検出器の加速度たる推定運動加速度を決定する運動加速度推定手段、

を備えると共に、前記姿勢推定手段は、少なくとも前記加速度検出器の検出値および前記推定運動加速度を基に、前記推定された姿勢を補正することを特徴とする脚式移動ロボットの自己姿勢推定装置。

【請求項 8】

目標動作を生成し、前記目標動作に追従する脚式移動ロボットにおいて、

a) 所定の部位の姿勢角速度を検出する姿勢検出手段、

b) 前記所定の部位の加速度を検出する加速度検出手段、

c) 目標運動を基に、前記ロボットの運動に伴う加速度検出器の加速度たる推定運動加速度を決定する運動加速度推定手段、

を備えると共に、少なくとも前記加速度検出器の検出値、前記推定運動加速度および姿勢角速度検出値を基に、前記所定の部位の姿勢を推定することを特徴とする脚式移動ロボットの自己姿勢推定装置。

【請求項 9】

目標動作を生成し、前記目標動作に追従する脚式移動ロボットにおいて、

a) 所定の部位の姿勢角速度を検出する姿勢角速度検出手段、

b) 目標運動ないしは関節変位検出値の少なくともいずれかを基に、前記ロボットと床の接触面の間に滑りがないと想定してキネマティクス演算によって、前記所定の部位の姿勢角または角速度を推定する無滑り姿勢推定手段、

c) ドリフト補正値を決定するドリフト補正値決定手段、

d) 少なくとも姿勢角速度検出手段の検出値から前記ドリフト補正値を減じた値を積分することにより前記所定の部位の姿勢を推定する姿勢角速度積分手段、

を備え、前記ドリフト補正値決定手段が、姿勢角速度積分手段が推定した姿勢と

無滑り姿勢推定手段が推定した姿勢の差または前記差の変化速度の少なくともいずれかに応じて前記ドリフト補正値を決定することを特徴とする脚式移動ロボットの自己姿勢推定装置。

【請求項 1 0】

所定の条件を満足しなくなった場合に、前記ドリフト補正値を保持するように決定することを特徴とする請求項第 9 項記載の脚式移動ロボットの自己姿勢推定装置。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【産業上の利用分野】

脚式移動ロボットの自己位置・姿勢推定手段ならびに装置に関する。

【0 0 0 2】

【従来技術】

一般的に、脚式移動ロボットには、上体に傾斜計が搭載されており、傾斜計の出力を目標歩容の上体傾斜に収束させるように姿勢制御される。

【0 0 0 3】

傾斜計は、上体の角速度を検知するためのジャイロセンサと、鉛直方向（すなわち重力方向）を検知するための加速度センサ（または振り子等の鉛直指示器）から構成される。傾斜計では、基本的にジャイロセンサが検知した角速度を積分することによって上体の傾斜角を推定するが、そのままでは積分誤差が蓄積するので、加速度センサの検出値を用いて、積分によって得られた推定傾斜角を補正していた。具体的には、加速度センサによって検出される加速度方向に対する傾斜と、ジャイロセンサの検出値を積分器に通して得られた傾斜角との差を求め、前記差に応じた補正量（差にある所定のゲインを乗じた値と差を積分してある所定のゲインを乗じた値の和）を前記積分器に追加的に入力することにより、傾斜角を補正していた。

【0 0 0 4】

しかし、この方式では、走行などのように上体が激しく加速ないしは減速する場合には、加速度センサによって検出される加速度には、重力加速度以外に上体



の運動による加速度が加わるため、重力加速度方向が正確に検出できなくなり、上記の補正によって、かえって推定傾斜角の誤差が拡大するおそれがあった。

【0005】

以降、上体などのようなある代表的な部位の傾きと向きを総称して「姿勢」と呼ぶ。「傾き」は、鉛直方向となす角度である。「向き」は、代表的な部位の前方方向を示すベクトルを水平面に投影したベクトルの向きである。

【0006】

一般的に代表的な部位とは、ジャイロセンサと加速度センサから構成される傾斜計が搭載されている部位であるが、他の部位であっても、その部位と傾斜計が搭載されている部位の間の各関節にエンコーダのような関節変位検出器や変位制御アクチュエータがあれば、その部位の傾斜を算出することができるので、その部位を代表的な部位としても構わない。例えば、関節を持つ首で連結された頭部にジャイロセンサおよびまたは加速度センサを備える場合でも、代表部位を上体としても良い。なお、後述する実施例においては、上体を代表的部位としている。

【0007】

また一般的には全関節変位の組も姿勢と呼ばれるが、特に断りがない限り、本実施例においては、「姿勢」をこの意味では用いない。

【0008】

従来の脚式移動ロボットでは、上記のような問題に加え、脚を振ることによる反力によって、足平と床の間の摩擦力が限界となって、足平と床の間で回転滑りが生じ、ロボット全体が鉛直軸まわりに姿勢回転して、目標歩容の向きからずれるという問題があった。

【0009】

補足すると、上体が常に鉛直（直立）を維持して、直線歩行する目標歩容だけが生成されるとは限らない。目標歩容においても、ロボット全体または上体は旋回したり、前後左右に傾いたりする。すなわち、目標歩容においても、全体の姿勢回転（または上体等の代表部位の姿勢回転）が存在する。そこで、本特許においては、目標歩容における姿勢回転を目標姿勢回転と呼ぶ。本特許が問題とする

現象は、実際のロボットの全体の姿勢回転（または上体等の代表部位の姿勢回転）が、前記姿勢回転からずれることである。この現象を、厳密に表現するならば、「目標姿勢回転からの振動」あるいは「姿勢回転振動」と呼ぶべきであるが、目標姿勢回転と混同する恐れがない場合には、以降、これを「姿勢回転」と省略する。

## 【0010】

なお、以降、特に、ロボット全体が鉛直軸まわりに姿勢回転して、目標歩容の向きからずれる現象をスピンと呼ぶ。

## 【0011】

また、走行においては、全脚が床から離れて空中に存在する時期において、鉛直方向の位置も目標歩容からずれ易かった。

## 【0012】

目標歩容の軌道（経路）からロボットがずれないようにするためには、自己位置・姿勢を精度良く推定することが必要である。

## 【0013】

また、ビデオカメラ等の環境認識装置を搭載していても、地図情報にあらかじめ登録してあるランドマーク等の注視すべき対象物を画像のある所定の位置に捉えるためには、自己位置・姿勢を精度良く推定することが必要である。

## 【0014】

また、ビデオカメラ等の環境認識装置によって、環境に設定されたグローバル座標系における対象物の位置を計測するためには、グローバル座標系における自己位置・姿勢を精度良く推定することが必要である。

## 【0015】

ビデオカメラ等の環境認識装置を用いなく、自己位置姿勢を推定する方法としては、ロケットなどの誘導に用いられている慣性航法装置が知られている。

## 【0016】

しかし、慣性航法装置においては、加速度センサの検出値を2階積分することにより位置が推定されるので、センサに極めて高い精度が要求される。また、慣性航法装置を用いるためには、初期状態において床（地面）に固定することによ

って、位置、速度の初期値を0としてから、移動を開始する必要があるが、脚式移動ロボットにおいては、直立静止時でも、姿勢を安定化するために、常に各関節が微小ながら動き続けなければならないので、完全静止状態にすることができなかった。したがって、位置、速度の初期値が完全には0にならない状態から慣性航法演算を開始することとなり、推定誤差が大きくなりがちであった。

## 【0017】

また、ロケットや航空機においては、衛星、地上のレーダーやビーコンなど、外部装置との相対位置関係から自己位置姿勢を修正するグローバル・ポジショニング・システム（GPS）が用いられている。ロボットにおいて、同様のシステムを導入することも可能ではあるが、ロボットの足平（脚先端部）の床からの高さをミリメートルやセンチメートルのオーダーで測定する程の精度を低コストで実現することは困難である。

## 【0018】

## 【発明が解決しようとする課題】

本発明の第1の目的は、従来技術の上記した不都合を解消し、ロボットの自己位置姿勢を精度良く推定することである。特に、加速度が水平方向や鉛直方向に激しく変動している状態、走行時などのように全脚が床から離れている状態、または足底と床の間の回転滑りなどによってロボット全体に姿勢回転（またはスピン）が生じている状態においても、自己位置姿勢を精度良く推定することである。

## 【0019】

第2の目的は、ロボットの推定自己位置姿勢と、あらかじめ記憶しておいた対象物のグローバル座標系における位置を基に、ロボットに搭載されたビデオカメラ等の環境認識装置により前記対象物を前記環境認識装置の画像の中央あるいは適切な位置に捉えるように、前記環境認識装置の方向を制御する注視制御を適切に行うことを可能とすることである。

## 【0020】

第3の目的は、ランドマーク等あらかじめ正確な位置情報を記憶している対象物の位置情報と、前記環境認識手段によって得た前記対象物に対するロボットの

相対位置情報により、前記推定した自己位置姿勢を補正し、自己位置姿勢推定の精度を高めることを目的とする。

#### 【0021】

第4の目的は、前記環境認識手段が床面や障害物などのある対象物を認識する時に、前記環境認識手段によって得た情報と前記推定した自己位置姿勢から、グローバル座標系における対象物の位置姿勢または形状を精度良く認識することを可能とすることを目的とする。

#### 【0022】

##### 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本発明の脚式移動ロボットの自己位置推定装置は、目標動作を生成し、前記目標動作に追従する脚式移動ロボットにおいて、a)前記ロボットの所定の部位の姿勢を検出あるいは推定する姿勢検出手段、b)前記検出あるいは推定された姿勢と前記目標動作における前記所定の部位の姿勢との差ないしは前記差の変化速度の少なくともいずれかに基づいて、姿勢回転振動量ないしは姿勢回転速度振動量を決定する姿勢回転振動決定手段、c)姿勢回転振動の回転中心を決定する回転中心決定手段、d)目標動作に追従しているロボットが、あるいは目標動作通りの上体姿勢を維持しつつ、少なくとも関節変位検出値のとおり運動している前記ロボットが、前記回転中心まわりに前記回転振動量に相当する角度ないしは前記姿勢回転速度振動量に相当する角速度によって回転したと想定して、前記ロボットの接地（着地）位置ないしは所定の部位の位置の少なくともいずれかを推定する位置推定手段、を備えることを特徴とする。

#### 【0023】

また、本発明の脚式移動ロボットの自己位置推定装置は、目標動作を生成し、前記目標動作に追従する脚式移動ロボットにおいて、a)前記ロボットの所定の部位の姿勢を検出あるいは推定する姿勢検出手段、b)前記検出あるいは推定された姿勢と前記目標動作における前記所定の部位の姿勢との差ないしは前記差の変化速度の少なくともいずれかに基づいて、姿勢回転振動量ないしは姿勢回転速度振動量を決定する姿勢回転振動決定手段、c)姿勢回転振動の回転中心を決定する回転中心決定手段、d)目標動作に追従しているロボットが、あるいは目標動作通り

の上体姿勢を維持しつつ、少なくとも関節変位検出値のとおり運動している前記ロボットが、前記回転中心まわりに前記回転振動量に相当する角度ないしは前記姿勢回転速度振動量に相当する角速度によって回転したと想定して、前記所定の部位あるいは全体重心の第1の推定位置を決定する幾何学的推定手段、e) 前記姿勢検出手段含まれる加速度検出手段ないしは前記ロボットの加速度を検出する加速度検出手段の少なくともいずれかの検出値と前記検出あるいは推定された姿勢を基に、慣性航法によって前記所定の部位あるいは全体重心の第2の推定位置を算出すると共に、少なくとも第1の推定位置と第2の推定位置との差を基に、第2の推定位置を補正する慣性航法的推定手段、を備えることを特徴とする。

【0024】

また、本発明の脚式移動ロボットの自己位置推定装置は、目標動作を生成し、前記目標動作に追従する脚式移動ロボットにおいて、a) 前記ロボットの所定の部位の姿勢を検出あるいは推定する姿勢検出手段、b) 前記検出あるいは推定された姿勢と前記目標動作における前記所定の部位の姿勢との差ないしは前記差の変化速度の少なくともいずれかに基づいて、姿勢回転振動量ないしは姿勢回転速度振動量を決定する姿勢回転振動決定手段、c) 姿勢回転振動の回転中心を決定する回転中心決定手段、d) 目標動作に追従しているロボットが、あるいは目標動作通りの上体姿勢を維持しつつ、少なくとも関節変位検出値のとおり運動している前記ロボットが、前記回転中心まわりに前記回転振動量に相当する角度ないしは前記姿勢回転速度振動量に相当する角速度によって回転したと想定して、前記所定の部位あるいは全体重心の第1の推定位置を決定する幾何学的推定手段、e) 前記姿勢検出手段含まれる加速度検出手段ないしは前記ロボットの加速度を検出する加速度検出手段の少なくともいずれかの検出値と前記検出あるいは推定された姿勢を基に、慣性航法によって前記所定の部位あるいは全体重心の第2の推定位置を算出すると共に、少なくとも第1の推定位置と第2の推定位置との差を基に、第2の推定位置を補正する慣性航法的推定手段、f) 床反力を検出する床反力検出手段、g) 少なくとも前記検出された床反力と前記検出あるいは推定された姿勢を基に、動力学演算によって前記所定の部位あるいは全体重心の第2の推

定位置を算出すると共に、少なくとも第1の推定位置と第2の推定位置との差を基に、第2の推定位置を補正する動力的位置推定手段、を備えることを特徴とする。

## 【0025】

前記脚式移動ロボットの自己位置推定装置は、少なくとも、あらかじめ記憶しておいた地図上の床面や障害物などの対象物の位置情報と、ロボットの搭載されたビデオカメラ等の環境認識手段によって認識された前記対象物に対する前記ロボットの相対位置関係情報を基に、前記推定した位置姿勢を補正することが好ましい。

## 【0026】

前記脚式移動ロボットの自己位置推定装置は、少なくとも、前記推定された位置姿勢とロボットの搭載されたビデオカメラ等の環境認識手段によって認識された対象物に対する前記ロボットの相対位置関係情報を基に、対象物の地図上の位置を推定する対象物位置推定手段、を備えることが好ましい。

## 【0027】

また、前記脚式移動ロボットの自動位置推定装置は、前記推定された位置姿勢とあらかじめ記憶しておいた地図上の床面や障害物などの対象物の位置を基に、ロボットの搭載されたビデオカメラ等の環境認識手段が注視すべき方向を決定する注視制御手段、を備えることが好ましい。

## 【0028】

本発明の脚式移動ロボットの自己姿勢推定装置は、目標動作を生成し、前記目標動作に追従する脚式移動ロボットにおいて、a)前記ロボットの所定の部位の加速度を検出する加速度検出手段、b)前記所定の部位の姿勢角速度を検出する姿勢角速度検出手段、c)少なくとも前記検出された姿勢角速度を基に、前記所定の部位の姿勢を推定する姿勢検出手段、d)前記推定された姿勢と前記目標動作における前記所定の部位の姿勢との差ないしは前記差の変化速度の少なくともいずれかに基づいて、姿勢回転摂動量ないしは姿勢回転速度摂動量を決定する姿勢回転摂動決定手段、e)姿勢回転摂動の回転中心を決定する回転中心決定手段、f)目標動作に追従しているロボットが、あるいは目標動作通りの上体姿勢を維持しつつ、

少なくとも関節変位検出値のとおり運動している前記ロボットが、前記回転中心まわりに前記回転振動量に相当する角度ないしは前記姿勢回転速度振動量に相当する角速度によって回転したと想定して、前記ロボットの接地（着地）位置ないしは前記所定の部位の位置の少なくともいずれかを推定する位置推定手段、g) 前記位置推定手段が推定した位置を基に、前記ロボットの運動に伴う加速度検出器の加速度たる推定運動加速度を決定する運動加速度推定手段、を備えると共に、前記姿勢推定手段は、少なくとも前記加速度検出器の検出値および前記推定運動加速度を基に、前記推定された姿勢を補正することを特徴とする。

## 【 0 0 2 9 】

本発明の脚式移動ロボットの自己姿勢推定装置は、目標動作を生成し、前記目標動作に従って脚式移動ロボットにおいて、a) 所定の部位の姿勢角速度を検出する姿勢検出手段、b) 前記所定の部位の加速度を検出する加速度検出手段、c) 目標運動を基に、前記ロボットの運動に伴う加速度検出器の加速度たる推定運動加速度を決定する運動加速度推定手段、を備えると共に、少なくとも前記加速度検出器の検出値、前記推定運動加速度および姿勢角速度検出値を基に、前記所定の部位の姿勢を推定することを特徴とする。

## 【 0 0 3 0 】

本発明の脚式移動ロボットの自己姿勢推定装置は、目標動作を生成し、前記目標動作に従って脚式移動ロボットにおいて、a) 所定の部位の姿勢角速度を検出する姿勢角速度検出手段、b) 目標運動ないしは関節変位検出値の少なくともいずれかを基に、前記ロボットと床の接触面の間に滑りがないと想定してキネマティクス演算によって、前記所定の部位の姿勢角または角速度を推定する無滑り姿勢推定手段、c) ドリフト補正値を決定するドリフト補正値決定手段、d) 少なくとも姿勢角速度検出手段の検出値から前記ドリフト補正値を減じた値を積分することにより前記所定の部位の姿勢を推定する姿勢角速度積分手段、を備え、前記ドリフト補正値決定手段が、姿勢角速度積分手段が推定した姿勢と無滑り姿勢推定手段が推定した姿勢の差または前記差の変化速度の少なくともいずれかに応じて前記ドリフト補正値を決定することを特徴とする。

## 【 0 0 3 1 】

前記脚式移動ロボットの自己姿勢推定装置は、所定の条件を満足しなくなった場合に、前記ドリフト補正値を保持するように決定することが好ましい。

【0032】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照してこの発明の一つの実施の形態に係る脚式移動ロボットの歩容生成装置を説明する。尚、脚式移動ロボットとしては2足移動ロボットを例にとる。

【0033】

図1は、この実施の形態に係る歩容生成装置が適用される脚式移動ロボット、より具体的には2足移動ロボットを全体的に示す概略図である。

【0034】

図示の如く、2足歩行ロボット（以下「ロボット」という）1は左右それぞれの脚部（脚部リンク）2に6個の関節を備える。6個の関節は上から順に、股（腰部）の脚部回旋（回転）用の関節10R、10L（右側をR、左側をLとする。以下同じ）、股（腰部）のロール方向（X軸まわり）の関節12R、12L、股（腰部）のピッチ方向（Y軸まわり）の関節14R、14L、膝部のピッチ方向の関節16R、16L、足首のピッチ方向の関節18R、18L、同ロール方向の関節20R、20Lから構成される。

【0035】

関節18R（L）、20R（L）の下部には足平（足部）22R、22Lが装着されると共に、最上位には上体（基体）3が設けられ、その内部にマイクロコンピュータからなる制御ユニット60（後述）などが格納される。上記において、股関節（あるいは腰関節）は関節10R（L）、12R（L）、14R（L）から、足関節（足首関節）は関節18R（L）、20R（L）から構成される。また股関節と膝関節とは大腿リンク24R、24L、膝関節と足関節とは下腿リンク26R、26Lで連結される。

【0036】

尚、上体3の上部には腕5が取り付けられると共に、その上部には頭部4が配置されるが、その詳細は、この発明の要旨と直接の関連を有しないため、省略す



る。

#### 【0037】

上記の構成により、脚部2は左右の足についてそれぞれ6つの自由度を与えられ、歩行中にこれらの $6 \times 2 = 12$ 個の関節を適宜な角度で駆動することで、足全体に所望の動きを与えることができ、任意に3次元空間を歩行させることができる（この明細書で「\*」はスカラに対する演算としては乗算を、ベクトルに対する演算としては外積を示す）。

#### 【0038】

尚、この明細書で後述する上体3の位置およびその速度は、上体3の所定位置、具体的には上体3の代表点の位置およびその移動速度を意味する。それについては後述する。

#### 【0039】

図1に示す如く、足関節の下方には公知の6軸力センサ50が取着され、力の3方向成分 $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ とモーメントの3方向成分 $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ とを測定し、足部の着地の有無および床反力（接地荷重）などを検出する。また、上体3には傾斜センサ54が設置され、Z軸（鉛直方向（重力方向））に対する傾きとその角速度を検出する。更に、傾斜センサ54は、3方向の加速度センサ、3方向のレートジャイロセンサを備え、これらのセンサの検出値を基にセンサフュージョンによってロボットの自己位置姿勢を推定する。これについては、後に詳説する。また各関節の電動モータには、その回転量を検出するロータリエンコーダが設けられる。

#### 【0040】

図2に示すように、足平22R(L)の上方には、ばね機構70が装備されると共に、足底にはゴムなどからなる足底弾性体71が貼られてコンプライアンス機構72を構成する。ばね機構70は具体的には、足平22R(L)に取り付けられた方形状のガイド部材（図示せず）と、足首関節18R(L)および6軸力センサ50側に取り付けられ、前記ガイド部材に弾性材を介して微動自在に収納されるピストン状部材（図示せず）とからなる。

#### 【0041】

図中に実線で表示された足平22R(L)は、床反力を受けていないときの状態を示す。床反力を受けると、コンプライアンス機構72においてバネ機構70と足底弾性体71がたわみ、足平22R(L)は図中に点線で表示された位置姿勢に移る。この構造は、着地衝撃を緩和するためだけでなく、制御性を高めるためにも重要なものである。尚、その詳細は本出願人に先に提案した特開平5-305584号に記載されているので、詳細な説明は省略する。

## 【0042】

さらに、図1では図示を省略するが、ロボット1の適宜な位置にはジョイスティック73が設けられ、外部から必要に応じて直進歩行しているロボット1を旋回させるなど歩容に対する要求を入力できるように構成される。

## 【0043】

図3は制御ユニット60の詳細を示すブロック図であり、マイクロ・コンピュータから構成される。そこにおいて傾斜センサ54などの出力はA/D変換器80でデジタル値に変換され、その出力はバス82を介してRAM84に送られる。また各電動モータに隣接して配置されるエンコーダの出力はカウンタ86を介してRAM84内に入力される。

## 【0044】

制御ユニット60の内部にはそれぞれCPUからなる第1、第2の演算装置90、92が設けられており、第1の演算装置90は後述の如く、目標歩容を生成すると共に、後述の如く関節角変位指令を算出し、RAM84に送出する。また第2の演算装置92はRAM84からその指令と検出された実測値とを読み出し、各関節の駆動に必要な操作量を算出してD/A変換器96とサーボアンプを介して各関節を駆動する電動モータに出力する。

## 【0045】

各脚部2の足平22R(L)（以下、足平機構22R(L)と称することがある。）の構成を図4及び図5を参照してさらに説明する。図4は足平機構22R(L)の側面示の断面図、図5は該足平機構22R(L)の底面側から見た平面図である。

## 【0046】

足平機構 22R (L) は、大略平板状の足平プレート部材 102 を骨格部材として備えている。この足平プレート部材 102 は、その前端部（つま先部）と後端部（踵部）とは若干上方に湾曲されているが、他の部分は平坦な平板状になっている。また、足平プレート部材 102 の上面部には、横断面方形状の筒部材 103 がその軸心を上下方向に向けて固設されている。この筒部材 103 の内部には、該筒部材 103 の内周面に沿うようにして略上下方向に移動可能に設けられた可動板 104 が設けられ、該可動板 104 が足首関節 18R (L) に 6 軸力センサ 50 を介して連結されている。該 6 軸力センサ 50 は足平機構 22R (L) に作用する床反力（詳しくは、前後、左右、及び上下方向の 3 軸方向の並進力、並びに、その 3 軸回りのモーメント）を検出するものであり、その検出出力は制御ユニット 60 に入力される。

## 【0047】

また、可動板 104 は、その下面の周縁部がばね、ゴム等の弾性材からなる複数の弾性部材 106（図ではばねとして記載している）を介して足平プレート部材 102 の上面部に連結されている。従って、足平プレート部材 102 は、弾性部材 106、可動板 104 及び 6 軸力センサ 50 を介して足首関節 18R (L) に連結されている。尚、筒部材 103 の内部（可動板 104 の下側の空間）は、図示を省略する穴や隙間を介して大気側に開放されており、大気中の空気が筒部材 103 の内部に入出自在となっている。

## 【0048】

足平プレート部材 102 の底面（下面）には、接地部材 107 が取着されている。該接地部材 107 は、足平機構 22R (L) の着床状態で、該足平プレート部材 102 と床面との間に介在させる弾性部材（床面に直接的に接触する弾性部材）であり、本実施形態では、足平プレート部材 102 の接地面の四隅（足平プレート部材 102 のつま先部の両側部並びに踵部の両側部）に固着されている。また、接地部材 107 は、本実施形態では、比較的軟質のゴム材から成る軟質層 107a と、比較的硬質のゴム材から成る硬質層 107b とを上下に重合してなる 2 層構造に形成され、硬質層 107b が、脚部 2 の着床時に直接的に床面に接触する接地面部として最下面側に設けられている。

## 【 0 0 4 9 】

足平機構 2 2 R ( L ) には、上記の構成の他、着床衝撃緩衝装置 1 0 8 が備えられている。この着床衝撃緩衝装置 1 0 8 は、足平プレート部材 1 0 2 の底面に取着された袋状部材 1 0 9 と、該袋状部材 1 0 9 の内部に対して圧縮性流体としての空気（大気中の空気）を入出させるための流通路 1 1 0 とを備えている。

## 【 0 0 5 0 】

袋状部材 1 0 9 は、その周囲に前記接地部材 1 0 7 が存するようにして、足平プレート部材 1 0 2 の底面の大略中央部に設けられている。この袋状部材 1 0 9 は、ゴム等の弾性材により変形自在に構成されており、外力による弾性変形が生じていない自然状態では、図 4 に実線で示すように、上方に開口した円筒容器形状を呈する。そして、該袋状部材 1 0 9 は、その開口端部が全周にわたって足平プレート部材 1 0 2 の底面に固着され、該足平プレート部材 1 0 2 により閉蓋されている。また、袋状部材 1 0 9 は、円筒容器形状を呈する自然状態では、該袋状部材 1 0 9 の底部が前記接地部材 1 0 7 よりも下方に突出するように設けられている。つまり、該袋状部材 1 0 9 の高さ（足平プレート部材 1 0 2 の下面から袋状部材 1 0 9 の底部までの距離）は、接地部材 1 0 7 の厚さよりも大きいものとされている。従って、足平プレート部材 1 0 2 が接地部材 1 0 7 を介して接地した状態（脚部 2 の着床状態）では、袋状部材 1 0 9 は、図 4 に仮想線で示すように、床反力により袋状部材 1 0 9 の高さ方向に圧縮される。

## 【 0 0 5 1 】

尚、本実施形態では、袋状部材 1 0 9 が円筒容器形状を呈する自然状態は該袋状部材 1 0 9 の膨張状態である。そして、袋状部材 1 0 9 は、弾性材により構成されているため、圧縮されたとき、自然状態の形状（円筒容器形状）への形状復元力を有する。

## 【 0 0 5 2 】

前記流通路 1 1 0 は、本発明における流入・流出手段を構成するものであり、本実施形態では、袋状部材 1 0 9 の内部と前記筒部材 1 0 3 の内部とを連通させるように足平プレート部材 1 0 2 に穿設された流通孔である。この場合、前述のように、筒部材 1 0 3 の内部は大気側に開放されているので、該流通路 1 1 0 は

、袋状部材109の内部を大気側に連通させていることとなる。従って、袋状部材109の内部には、大気中の空気が流通路110を介して入出自在となっており、該袋状部材109の膨張状態（自然状態）では、該袋状部材109内には空気が充填され、その内部の圧力は大気圧と同等になる。また、流通路110は絞り通路となっており、袋状部材109の内部に空気が入出する際には流体抵抗を生じるようになっている。

## 【0053】

図6は、この実施の形態に係る脚式移動ロボットの制御装置の構成および動作を全体的に示すブロック図である。

## 【0054】

以下説明すると、この装置は歩容生成部200を備え、歩容生成部200は後述の如く目標歩容を自在かつリアルタイムに生成して出力する。目標歩容は、目標上体位置姿勢（軌道）、目標足平位置姿勢（軌道）、目標全床反力中心点（目標ZMP）（軌道）、目標全床反力（軌道あるいはパターン）および図示していない目標腕姿勢（軌道）などその他の部位の位置姿勢（軌道）から成る。

## 【0055】

以降、「目標上体」を、誤解を生じるおそれがない場合には、しばしば「上体」と省略する。

## 【0056】

尚、各足平22R, Lの床反力を「各足平床反力」と呼び、全ての（2本の）足平の床反力の合力を「全床反力」と呼ぶ。ただし、以降においては、各足平床反力に関してはほとんど言及しないので、断らない限り、「床反力」は「全床反力」と同義として扱う。

## 【0057】

目標床反力は、一般的には、作用点とその点に作用する力と力のモーメントによって表現される。作用点はどこにとっても良いので、同一の目標床反力でも無数の表現が考えられるが、特に前述の目標床反力中心点を作用点にして目標床反力を表現すると、力のモーメントは、鉛直軸成分を除けば、0になる。

## 【0058】

尚、動力的平衡条件を満足する歩容では、目標とする運動軌道（パターン）から算出されるZMP（目標とする運動軌道から算出される重力と慣性力の合力がその点まわりに作用するモーメントが、鉛直軸成分を除けば、零になる点）と目標全床反力中心点は一致することから、目標床反力中心点軌道の代わりに目標ZMP軌道を与えと言っても同じことである。詳細は、特願2000-352011を参照のこと。

## 【0059】

このような背景から、特願2000-352011の明細書では目標歩容を、次のように定義していた。

- a) 広義の目標歩容とは、1歩ないしは複数歩の期間の目標運動軌道（パターン）とその目標床反力軌道（パターン）の組である。
- b) 狭義の目標歩容とは、1歩の期間の目標運動軌道（パターン）とそのZMP軌道（パターン）の組である。
- c) 一連の歩行は、いくつかの歩容がつながったものとする。

## 【0060】

歩行においては、本出願人が先に特開平10-86080号公報で提案した上体高さ決定手法によって上体鉛直位置（上体高さ）が決定されると、床反力の並進力成分は従属的に決定されるので、目標歩容の床反力に関して明示的に設定すべき物理量としては、ZMPだけで十分であった。したがって、特願2000-352011の明細書では、狭義の目標歩容としては、上記のb)で十分であった。それに対し、走行においては、床反力鉛直成分も制御上重要であるので、本発明では、これを明示的に設定するものとし、狭義の目標歩容として、次のb')を用いる。

- b') 狭義の目標歩容とは、1歩の期間の目標運動軌道（パターン）とそのZMP軌道（パターン）と床反力鉛直成分軌道（パターン）の組である。

## 【0061】

この明細書では以降、理解を容易にするために、特にことわらない限り、目標歩容は狭義の目標歩容の意味で使用する。より詳しくは、この明細書では目標歩容の一步は、片方の脚が着地してからもう一方の脚が着地するまでの意味で使用する。

## 【 0 0 6 2 】

両脚支持期とは言うまでもなく、ロボット 1 がその自重を脚部リンク 2 の双方で支持する期間を、片脚支持期とは脚部リンク 2 の一方で支持する期間を、空中期とは、脚部リンク 2 の双方が床から離れている時期を言う。

## 【 0 0 6 3 】

片脚支持期においてロボット 1 の自重を支持しない側の脚部（リンク）を「遊脚」と呼ぶ。

## 【 0 0 6 4 】

目標足平位置姿勢軌道は、本出願人が提案した特許3233450号を用いて、生成される。有限時間整定フィルタは、目標到達点に向かって徐々に加速しながら移動を開始し、到達時刻にまでに徐々に速度を 0 またはほぼ 0 にまで減速し、指定された到達時刻に目標到達点に到達して停止する。指定された到達時刻が着地時刻に一致するように設定されるので、着地瞬間における対地速度が 0 またはほぼ 0 になる。したがって、走行において同時に全脚が空中に存在する状態（空中期での状態）から着地しても、着地衝撃が小さくなる。

## 【 0 0 6 5 】

床反力鉛直成分パターンは、図 7 a のように設定する。

## 【 0 0 6 6 】

目標 ZMP 軌道は図 7 b に示すように設定される。

## 【 0 0 6 7 】

また、目標腕姿勢は、上体に対する相対姿勢で表す。

## 【 0 0 6 8 】

また、目標上体姿勢、目標上体位置、目標足平位置姿勢、目標腕姿勢および基準上体姿勢は支持脚座標系で記述される。支持脚座標系とは、支持脚の接地面辺りに原点を持つ床面に固定された座標系であり、詳細には、特許3273443号に記載されているように、支持脚足平を接地面との間で滑らさないで、水平になるまで回転させた時の、足首中心から接地面への垂直投影点を原点とし、つま先に向かう水平軸を X 座標にとり、鉛直軸を Z 座標、これらに直交する座標軸を Y 座標にとった座標系である。

【0069】

次に、本実施例に用いられるロボット動力学モデルについて説明する。

【0070】

本実施例に用いるロボット動力学モデルとしては、本出願人が提案した特願2000-352011に記載の単純化モデルあるいは、本出願人が提案した特願2001-133621に記載の多質点モデル（フルモデル）などを用いれば良い。

【0071】

この実施の形態に係る歩容生成部200は、2歩先までの遊脚足平着地位置姿勢、着地時刻の要求値（要求）を入力として、目標上体位置姿勢軌道、目標足平位置姿勢軌道、目標ZMP軌道、床反力鉛直成分を生成する。また、図示していないが、目標腕姿勢も生成する。また、歩容パラメータの一部は、歩行の継続性を満足するように修正される。

【0072】

生成しようとしている歩容を「今回歩容」、その次の歩容を「次回歩容」、さらにその次の歩容を「次次回歩容」と呼ぶ。

【0073】

図8は、その歩容生成部200の歩容生成処理、ならびに、図6に示す自己位置姿勢推定部の自己位置姿勢推定処理を示すフロー・チャート（構造化フロー・チャート）である。

【0074】

以下、図9の走行パターンを生成することを例にして、フロー・チャートを説明する。

【0075】

まずS010において時刻 $t$ を0に初期化するなど種々の初期化作業を行う。

【0076】

次いでS012を経てS014に進み、制御周期毎のタイマ割り込みを待つ。制御周期は $\Delta t$ である。

【0077】

次いでS016に進み、自己位置姿勢推定を行う。S016における処理がこ



の出願に係る脚式移動ロボットの自己位置姿勢推定装置の特徴をなすが、この説明は後述することとする。

【0078】

次いでS018に進み、歩容切り変わり目であるか否かを判断し、肯定されるときはS020に進むと共に、否定されるときはS030に進む。

【0079】

S020に進むときは時刻 $t$ を0に初期化し、次いでS022に進み、次回歩容支持脚座標系、次次回歩容支持脚座標系、今回歩容周期および次回歩容周期を読み込む。

【0080】

これらは前記した要求に相当するが、あらかじめ歩行スケジュールとして記憶しておいても良く、あるいはジョイスティックなどの操縦装置からの指令（要求）とそのときまでの歩行履歴を基に決定しても良い。

【0081】

次いでS024に進み、今回歩容につながる定常旋回歩容の歩容パラメータを決定する。主に、足平軌道パラメータ、基準上体姿勢パラメータ、腕軌道パラメータ、目標ZMP軌道パラメータ、床反力鉛直成分パラメータが決定される。

【0082】

尚、この明細書で「定常旋回歩容」は、その歩容を繰り返したときに歩容の境界において運動状態に不連続が生じないような周期的歩容を意味するものとして使用する。（以降、「定常旋回歩容」を「定常歩容」と略す場合もある。）

定常旋回歩容は、第1旋回歩容と第2旋回歩容とからなる。尚、ここで「旋回」なる用語を用いたのは、旋回率を零とするときは直進を意味するので、直進も広義の意味で旋回に含ませることができるからである。

【0083】

以下では、説明の便宜上、複数の狭義の歩容から成る定常旋回歩容を1歩の歩容とみなす。

【0084】

定常旋回歩容は、歩容生成部200で今回歩容の終端における発散成分や上体

鉛直位置速度を決定するために暫定的に作成されるものであり、歩容生成部200からそのまま出力されるものではない。

【0085】

尚、「発散」とは、上体の位置が両足部（足平）の位置からかけ離れた位置にずれてしまうことを意味する。発散成分の値とは、2足移動ロボットの上体の位置が両足部（足平）の位置（厳密には、支持脚接地面に設定された支持脚座標系の原点からかけ離れていく具合を表す数値である。

【0086】

本実施例では、これから生成する今回歩容の後につながる定常歩容を移動要求に応じて設定し、定常歩容の初期発散成分を求めてから、今回歩容の終端発散成分を定常歩容の初期発散成分に一致するように、今回歩容を生成するようにした。詳細は、本出願人が提案した特願2000-352011号に説明しているのでここではこれ以上の説明を省略する。

【0087】

S024の詳細は、特願2000-352011号に説明しているので、ここでは、これ以上の説明を省略する。

【0088】

S010からS024までに示す処理を行って後、S026に進み、定常旋回歩容の初期状態（初期上体水平位置速度成分、初期上体鉛直位置速度、初期発散成分、初期上体姿勢角および角速度）を決定する。

【0089】

次いで、S028に進み、今回歩容の歩容パラメータを決定（一部仮決定）する。S028の詳細は、特願2000-352011号に説明しているので、ここでは、これ以上の説明を省略する。

【0090】

次いでS030に進み、今回歩容の終端発散成分が定常歩容の初期発散成分に一致するように、今回歩容の歩容パラメータを修正する。

【0091】

S030において今回歩容パラメータを修正した後、あるいはS018におい

て否定される場合には、S 0 3 2 に進み、今回歩容瞬時値を決定する。

この処理の詳細は、特願2000-352011号に説明しているので、ここでは、これ以上の説明を省略する。

#### 【 0 0 9 2 】

次いでS 0 3 4 に進み、スピン力をキャンセルする腕動作を決定する。

#### 【 0 0 9 3 】

次いでS 0 3 6 に進み、歩容生成用時刻  $t$  を  $\Delta t$  だけ増やし、S 0 1 4 に戻り、以上のごとく歩容生成を続ける。

#### 【 0 0 9 4 】

以上が、歩容生成部 2 0 0 における目標歩容生成処理、ならびに、自己位置姿勢推定部の自己位置姿勢推定処理である。

#### 【 0 0 9 5 】

図 6 を参照してこの実施の形態に係る歩容生成装置の動作をさらに説明すると、歩容生成部 2 0 0 において、上記したように目標歩容が生成される。生成された目標歩容の中、目標上体位置姿勢（軌道）は、ロボット幾何学モデル（逆キネマティクス演算部） 2 0 2 に直接送られる。図示していないが、目標腕姿勢などもロボット幾何学モデル（逆キネマティクス演算部） 2 0 2 に送られる。

#### 【 0 0 9 6 】

また、その他の目標足平（足部）位置姿勢（軌道）、目標全床反力中心点（即ち、目標 ZMP）軌道、および目標全床反力（軌道）（目標床反力水平成分と目標床反力鉛直成分）は、複合コンプライアンス動作決定部 2 0 4 に直接送られる一方、目標床反力分配器 2 0 6 にも送られ、そこで床反力は各足平（足部 2 2 R, L）に分配され、目標各足平床反力中心点および目標各足平床反力が決定されて複合コンプライアンス動作決定部 2 0 4 に送られる。

#### 【 0 0 9 7 】

複合コンプライアンス動作決定部 2 0 4 から、機構変形補償付き修正目標足平位置姿勢（軌道）がロボット幾何学モデル 2 0 2 に送られる。ロボット幾何学モデル 2 0 2 は、目標上体位置姿勢（軌道）と機構変形補償付き修正目標足平位置姿勢（軌道）を入力されると、それらを満足する 1 2 個の関節（1 0 R（L）な

ど)の関節変位指令(値)を算出して変位コントローラ208に送る。変位コントローラ208は、ロボット幾何学モデル202で算出された関節変位指令(値)を目標値としてロボット1の12個の関節の変位を追従制御する。

【0098】

ロボット1に生じた床反力は実各足平床反力検出器(6軸力センサ50)によって検出される。検出値は前記した複合コンプライアンス動作決定部204に送られる。また、前記のごとく決定された推定上体姿勢と目標上体姿勢の差のうちの傾き成分、すなわち姿勢傾斜偏差 $\theta_{errx}$ ,  $\theta_{erry}$ が姿勢安定化制御演算部212に送られ、そこで姿勢傾斜を復元する目標全床反力中心点(目標ZMP)まわり補償全床反力モーメントが算出されて複合コンプライアンス動作決定部204に送られる。複合コンプライアンス動作決定部204は、入力値に基づいて目標値を修正する。複合コンプライアンス動作決定部204は、修正された目標値に、センサ検出値などから算出される実ロボットの状態および床反力を一致させようと上記機構変形補償付き修正目標足平位置姿勢(軌道)を決定する。ただしすべての状態を目標に一致させることは事実上不可能であるので、これらの間にトレードオフ関係を与えて妥協的になるべく一致させる。すなわち、各目標に対する制御偏差に重みを与えて、制御偏差(あるいは制御偏差の2乗)の重み付き平均が最小になるように制御する。

【0099】

補足すると、機構変形補償付き修正目標足平位置姿勢(軌道)は、複合コンプライアンス動作決定部204によって修正された床反力の目標値を発生させるために必要な足平の変形機構(円柱状ゴム、足底スポンジおよび衝撃吸収用の袋状のエアダンパー)の変形量を変形機構の力学モデル(ばねダンパーモデル等)を用いて求めて、その変形量が発生するように修正した、目標足平位置姿勢(軌道)である。

【0100】

以下に、第1実施例におけるS016の自己位置推定処理について、そのフローチャートである図10を用いて詳説する。

【0101】

まず S 2 0 0 0 において、上体に搭載されたジャイロセンサの検出値を積分器により積分して推定上体姿勢を求める。推定上体姿勢はグローバル座標系で記述される。なお、推定上体姿勢のうちの傾き成分に関しては、ジャイロセンサのドリフトによる積分誤差の蓄積を抑制するために、加速度センサによって検出される重力方向を用いてドリフト補正を行うものとする。具体的には、加速度センサの検出値から求められる重力方向に対する上体の相対角度と、上記推定上体姿勢のうちの傾きとの差を求め、前記差が 0 に収束するように、前記差を P I 制御則などに通した値を、ジャイロセンサ検出値を積分するための積分器に追加的に入力することにより、補正が行われる。この補正手段は公知であり、さらにこれを改良した方式も、本出願人が先に提案した実用新案第 2528464 号に記載されているので、これ以上の説明は省略する。

## 【 0 1 0 2 】

次いで S 2 0 0 2 に進み、着地が確定したか否かを判定する。この判定においては、以下に列挙したいずれかの方法のように、目標歩容の時期から判定しても良いし、あるいは、6 軸力センサ（床反力センサ）や加速度センサの検出値から判定しても良い。あるいは、これらの状況から総合的に判断しても良い。

## 【 0 1 0 3 】

a) 空中期から支持脚期に移行してから所定時間後の時点か否か

b) 6 軸力センサ（床反力センサ）の検出値がある所定の値となってから所定の時間が経過した時点か否か。

## 【 0 1 0 4 】

c) 加速度センサの検出値がある所定の値となってから所定の時間が経過した時点か否か。

## 【 0 1 0 5 】

ただし、S 2 0 0 2 において肯定された直後に、極力足平が滑ったり、再び床から離れることがないように、着地瞬間から適度な時間が経過した時点を着地が確定した時点とすべきである。

## 【 0 1 0 6 】

S 2 0 0 2 において否定された場合には、以上をもって S 0 1 6 の自己位置推

定処理を終了し、前述のごとくS 0 1 8に進む。

【0 1 0 7】

S 2 0 0 2において肯定された場合には、以下の処理を行う。すなわち、まずS 2 0 0 4に進み、グローバル座標系から見た推定上体姿勢とグローバル座標系から見た目標歩容の上体姿勢の差を算出する。なお、グローバル座標系から見た目標歩容の上体姿勢とは、現在の推定支持脚座標系上で、1歩の間、姿勢傾きやスピンのなくロボットが目標歩容通りに運動したと仮定した場合のグローバル座標系から見た上体姿勢のことである。ただし、推定支持脚座標系とは、実際のロボットの支持脚足平の推定位置姿勢に対応した支持脚座標系であり、より具体的には、実際のロボットの支持脚足平を、その推定位置姿勢から、接地面との間で滑らさないで水平まで回転させた時の、足首中心から接地面への垂直投影点を原点とし、つま先に向かう水平軸をX座標にとり、鉛直軸をZ座標、これらに直交する座標軸をY座標にとった座標系である。第1実施例においては、後述のごとく推定支持脚座標系は、着地が確定した時にのみ更新されるので、着地時の実際のロボットの支持脚足平の推定位置姿勢に対応する支持脚座標系となる。結局、第1実施例においては自己位置の推定値として推定支持脚座標系の位置姿勢が推定される。

【0 1 0 8】

なお、S 2 0 0 4において、推定上体姿勢と目標歩容の上体姿勢の差を算出するようにしたが、厳密には、1歩の間の推定上体姿勢の変化量と目標歩容の上体姿勢の変化量の差を算出するのが良い。ただし、この実施例においては、以下のアルゴリズムを実行することによって、自動的に、1歩の初めにおいて推定上体姿勢と目標歩容の上体姿勢は一致するので、推定上体姿勢と目標歩容の上体姿勢の差と、1歩の間の推定上体姿勢の変化量と目標歩容の上体姿勢の変化量の差は同一となるので、いずれの差を用いても構わない。

【0 1 0 9】

次いでS 2 0 0 6に進み、姿勢回転中心を決定する。具体的には、目標ZMPを姿勢回転中心とする。

【0 1 1 0】

次いで S 2 0 0 8 に進み、現在の推定支持脚座標系（図 1 1 に示す滑りが発生する前の推定支持脚座標系）を、前記差だけ、前記姿勢回転中心まわりに回転させた位置・姿勢を改めて現在の推定支持脚座標系（図 1 1 に示す滑りが発生した後の推定支持脚座標系）と決定する。

【 0 1 1 1 】

なお、推定支持脚座標系の原点および座標軸の向きは、グローバル座標系によって表されるものとする。

【 0 1 1 2 】

また、S 0 1 0 の初期化处理において、推定支持脚座標系の初期値（初期位置姿勢）がセットされているものとする。

【 0 1 1 3 】

次いで S 2 0 1 0 に進み、現在の推定支持脚座標系に対する次回歩容推定支持脚座標系の相対位置姿勢関係が目標歩容における支持脚座標系に対する次回支持脚座標系の相対位置姿勢関係と同一関係になるように、次回歩容推定支持脚座標系（図 1 1 に示す次回歩容推定支持脚座標系）を決定する。

【 0 1 1 4 】

次いで S 2 0 1 2 に進み、次回歩容推定支持脚座標系の位置姿勢を現在の推定支持脚座標系の位置姿勢に代入し、以上をもって S 0 1 6 の自己位置推定処理を終了し、前述のごとく S 0 1 8 に進む。

【 0 1 1 5 】

以上が、第 1 実施例における S 0 1 6 の自己位置推定処理である。

【 0 1 1 6 】

推定支持脚座標系の回転中心は、空中期のない通常の歩行においては、支持脚足平の滑り回転の回転中心を意味する。しかし、走りなど、1 歩の途中に支持脚も床から離れている空中期においては、狭義の意味では支持脚足平の滑りが存在するわけではないので、空中での姿勢回転（あるいはスピン）は、推定支持脚座標系の回転中心まわりの回転で表現するのが望ましい。しかし、広義の意味で「支持脚足平の滑り」を推定支持脚座標系の回転中心まわりの姿勢回転と定義しても良いことである。

## 【 0 1 1 7 】

補足すると、支持脚座標系は、支持脚足平接地面に対して設定するもので、その原点は、前述のように足首中心から接地面への垂直投影点にしなくても良い。すなわち、支持脚座標系は、ロボットの運動を記述するための支持脚足平近傍の仮想の床に設定されたローカル座標系である。結局、ロボットの姿勢回転（あるいはスピン）現象は、ロボットが前記仮想の床上で相対的には姿勢回転（あるいはスピン）しないで運動している状態を保ったまま、ロボットごと前記仮想の床を、グローバル座標系のなかである所定の点を回転中心として姿勢回転（あるいはスピン）させた現象とみなされる。

## 【 0 1 1 8 】

さらに言い替えると、ロボットの運動は、ローカル座標系において目標歩容あるいは関節変位検出値に従って運動しているロボットの全体が、ローカル座標系ごと、グローバル座標系に対して、ある所定の点（姿勢回転中心）を回転中心として振動回転をしているとみなすことができる。

## 【 0 1 1 9 】

したがって、姿勢回転中心は、推定支持脚座標系の回転中心であり、また、前記振動回転の回転中心であるとも言える。

## 【 0 1 2 0 】

本実施例の S 2 0 0 8 において、傾斜成分の差も含めて、現在推定支持脚座標系を前記差だけ回転させると、一般的には、現在推定支持脚座標系の Z 軸は鉛直方向を向かなくなる。

## 【 0 1 2 1 】

本実施例では、現在推定支持脚座標系は、着地毎にしか更新されないもので、着地瞬間の上体姿勢によって現在推定支持脚座標系が傾いたままであることは、好ましいことではない。したがって、現在推定支持脚座標系は、Z 軸の向きが鉛直方向になるように決定されるべきである。このためには、S 2 0 0 8 において、姿勢回転後に、現在推定支持脚座標系の Z 軸の向きを鉛直方向に戻せば良い。または、現在推定支持脚座標系を、前記差だけ姿勢回転させる代わりに、前記差の内の鉛直軸まわり成分（スピン成分）だけ回転させても良い。または、S 2 0 1



0において、次回歩容推定支持脚座標系のZ軸の向きを鉛直方向に戻しても良い。

#### 【0 1 2 2】

以降、第2実施例までは、同様に、現在推定支持脚座標系は、Z軸の向きが鉛直方向になるように決定するのが良い。第3実施例以降においても、スピンによる自己位置ずれを重視するならば、同様にしても良い。

#### 【0 1 2 3】

また、本出願人は先に提案した特開2001-322076において、床の高さや傾きを推定する床形状推定手段を提案している。この床形状推定手段を本実施例および以降の実施例に併用する場合、推定支持脚座標系に加えて、床形状を推定する座標系として、床形状推定用支持脚座標系を用意した方が良い。さらに、床形状推定用支持脚座標系原点の水平位置は、推定支持脚座標系原点の水平位置に一致させ、床形状推定用支持脚座標系原点の鉛直位置は、次回目標歩容の支持脚座標系原点の鉛直位置に一致させ、床形状推定用支持脚座標系の姿勢は、推定支持脚座標系の姿勢のZ軸を鉛直方向に戻した姿勢に一致させると良い。

#### 【0 1 2 4】

このようにすれば、床形状推定用支持脚座標系において、目標歩容が想定していた床に対する実際の床の高さの差や傾きの差が推定されるからである。

#### 【0 1 2 5】

上記のごとく、第1実施例においては、実際のロボットの挙動を、ロボットの運動を記述するローカル座標系である推定支持脚座標系上で目標歩容通りに運動しているロボットが、1歩の間に、姿勢検出手段によって検出あるいは推定された姿勢と目標姿勢の差（あるいは前記差の鉛直成分）の分だけ、姿勢回転中心決定手段によって決定された所定の姿勢回転中心まわりに、前記推定支持脚座標系と共に、回転したものであるとみなして、着地時の遊脚位置姿勢に応じた新たな推定支持脚座標系の位置姿勢、すなわち着地点の位置と向き、さらに言い換えると足跡（foot print）を、1歩毎（着地毎）に推定する。

#### （第2実施例）

図12は、第2実施例におけるS016の自己位置推定処理のフローチャート

である。第2実施例においては、残余の形態は第1実施例と同じである。

【0126】

図12のフローチャートを説明すると、まずS2100において、第1実施例と同様、上体に搭載されたジャイロセンサの検出値を積分器により積分して推定上体姿勢を求める。次いでS2102に進み、第1実施例と同様、着地が確定したか否かを判定する。

【0127】

S2102において否定された場合には、以上をもってS016の自己位置推定処理を終了し、前述のごとくS018に進む。

【0128】

S2102において肯定された場合には、以下の処理を行う。すなわち、まずS2104に進み、第1実施例と同様、グローバル座標系から見た推定上体姿勢とグローバル座標系から見た目標歩容の上体姿勢の差を算出する。

【0129】

次いでS2106に進み、第1実施例と同様、姿勢回転中心を決定する。

【0130】

次いでS2108に進み、第1実施例と同様、現在の推定支持脚座標系を、前記差だけ、前記姿勢回転中心まわりに回転させた位置・姿勢を改めて現在の推定支持脚座標系と決定する。図13に、回転させる前の現在推定支持脚座標系と回転させた後の現在推定支持脚座標系を示す。

【0131】

次いでS2110に進み、少なくとも関節変位検出値を基にキネマティクス演算によって、現在の推定支持脚座標系における着地時の実遊脚足平位置・姿勢を推定する。以降、推定された着地時の実遊脚足平位置・姿勢を推定着地時遊脚足平位置姿勢と呼ぶ。

【0132】

ただし、この時、ロボットが、現在の推定支持脚座標系上で、目標歩容通りの上体姿勢を維持しつつ、現在の推定支持脚座標系上の仮想の床に対して支持脚の足底が滑ることなく、関節変位検出値の通りに運動しているものと仮定する。

## 【 0 1 3 3 】

補足すると、前記差だけ前記姿勢回転中心まわりに回転させた現在推定支持脚座標系上で、ロボットが、目標歩容通りの上体姿勢を維持している姿を想定した理由は、この瞬間において、想定した姿における上体姿勢が、グローバル座標系において、推定上体姿勢に一致させるためである。したがって、現在推定支持脚座標系を、前記差だけ姿勢回転させる代わりに、前記差の内の鉛直軸まわり成分（スピン成分）だけ回転させる場合には、ロボットが、現在の推定支持脚座標系上で、目標歩容通りの上体向きを維持しつつ、上体傾きは、前記差の傾き成分に一致し、現在の推定支持脚座標系上の仮想の床に対して支持脚の足底が滑ることなく、関節変位検出値の通りに運動しているものと仮定する。

## 【 0 1 3 4 】

また、この時、床反力検出値およびまたは目標歩容の床反力を基に、足平の変形機構（円柱状ゴム、足底スポンジおよび衝撃吸収用の袋状のエアダンパー）の変形量を変形機構の力学モデル（ばねダンパーモデル等）を用いて求め、前記変形量を含めて（考慮して）、推定着地時遊脚足平位置姿勢を求めても良い。より具体的には、図 1 3 に示すロボットの姿のように、現在の推定支持脚座標系において上体姿勢を目標上体姿勢とし、関節変位を関節変位検出値（第  $j$  関節変位検出値  $\theta_j$ 、 $j = 1, 2 \dots$ ）とし、変形機構の変形量を床反力検出値を基に推定した変形量とした場合の全体姿（その瞬間のロボット全体の姿）を求め、この全体姿における支持脚に対する遊脚足平位置・姿勢を求め、これをもって推定着地時遊脚足平位置姿勢とするようにしても良い。また、モータ電流指令あるいは検出値を基に外乱オブザーバを用いて、減速機やリンクに作用する負荷を推定し、推定した負荷を基に前記減速機やリンクの変形を推定して、前記減速機やリンクの変形を含めて（考慮して）、推定着地時遊脚足平位置姿勢を求めるようにしても良い。

## 【 0 1 3 5 】

または、少なくとも目標歩容の関節変位とコンプライアンス補償量（本出願に先に提案した特開平10-277969号を参照のこと）を基に、キネマティクス演算によって推定着地時遊脚足平位置姿勢を求めるようにしても良い。

## 【0 1 3 6】

これらにより、より一層精度良く推定着地時遊脚足平位置姿勢を求めることができる。

## 【0 1 3 7】

次いで S 2 1 1 2 に進み、前記推定着地時遊脚足平位置姿勢を基に、図 1 3 に示すように、現在推定支持脚座標系に対する次回歩容推定支持脚座標系の相対位置・姿勢を求める。なお、推定着地時遊脚足平位置姿勢、すなわち次回歩容の支持脚足平と、次回歩容推定支持脚座標系の位置・姿勢の対応関係は、前述のごとく支持脚足平と支持脚座標系の対応関係と同一にする。

## 【0 1 3 8】

次いで S 2 1 1 4 に進み、図 1 3 に示すように、回転させた後の現在推定支持脚座標系に対する次回歩容推定支持脚座標系の相対位置・姿勢と、グローバル座標系から見た回転させた後の現在推定支持脚座標系の位置姿勢を基に、グローバル座標系から見た次回歩容推定支持脚座標系の位置姿勢を求める。

## 【0 1 3 9】

次いで S 2 1 1 6 に進み、次回歩容推定支持脚座標系の位置姿勢を現在の推定支持脚座標系の位置姿勢に代入し、以上をもって S 0 1 6 の自己位置推定処理を終了し、前述のごとく S 0 1 8 に進む。

## 【0 1 4 0】

上記のごとく、第 2 実施例においては、実際のロボットの挙動を、ロボットの運動を記述するローカル座標系である推定支持脚座標系上で、目標歩容通りの上体姿勢を維持しつつ、少なくとも関節変位検出値の通りに運動しているロボットが、1 歩の間に、姿勢検出手段によって検出あるいは推定された姿勢と目標姿勢の差の分だけ、姿勢回転中心決定手段によって決定された所定の姿勢回転中心まわりに、前記推定支持脚座標系と共に、回転したものであるとみなして、着地時の遊脚位置姿勢に応じた新たな推定支持脚座標系の位置姿勢、すなわち着地点の位置と向き、さらに言い換えると足跡 (foot print) を、1 歩毎 (着地毎) に推定する。

(第 3 実施例)

図 1 4 は、第 3 実施例における S 0 1 6 の自己位置推定処理のフローチャートである。第 3 実施例においては、残余の形態は第 1 実施例と同じである。

【 0 1 4 1 】

第 3 実施例においては、第 1、第 2 実施例と異なり、制御周期毎に、推定支持脚座標系の姿勢回転（またはスピン）を推定し、推定支持脚座標系を更新するようにした。また、各瞬間における上体位置姿勢（厳密には上体の代表点の位置と上体姿勢）も推定するようにした。

【 0 1 4 2 】

詳細を説明すると、まず、S 2 2 0 0 において、第 1 実施例と同様、推定上体姿勢を求める。

【 0 1 4 3 】

次いで S 2 2 0 2 に進み、制御周期の間におけるグローバル座標系から見た推定上体姿勢変化量とグローバル座標系から見た目標歩容の上体姿勢の変化量の差を算出する。

【 0 1 4 4 】

次いで S 2 2 0 4 に進み、第 1 実施例と同様、姿勢回転中心を決定する。具体的には、その瞬間の目標 Z M P を姿勢回転中心とする。

【 0 1 4 5 】

次いで S 2 2 0 6 に進み、現在の推定支持脚座標系（図 1 5 に示す時刻  $k-1$  における推定支持脚座標系）を、前記差だけ、前記姿勢回転中心まわりに回転させた位置・姿勢を改めて現在の推定支持脚座標系（図 1 5 に示す時刻  $k$  における推定支持脚座標系）と決定する。回転のさせ方は第 1 実施例と同様である。

【 0 1 4 6 】

次いで S 2 2 0 8 に進み、着地時刻であるか否か、すなわち歩容の切り変わり目であるか否かを判定する。

【 0 1 4 7 】

S 2 2 0 8 において肯定された場合には、以下の処理を行う。すなわち、まず S 2 2 1 0 に進み、第 1 実施例と同様、現在の推定支持脚座標系に対する次回歩容推定支持脚座標系の相対位置姿勢関係が、目標歩容における支持脚座標系に対

する次回支持脚座標系の相対位置姿勢関係と同一関係になるように、次回歩容推定支持脚座標系を決定する。

【0148】

次いでS2212に進み、第1実施例と同様、次回歩容推定支持脚座標系の位置姿勢を現在の推定支持脚座標系の位置姿勢に代入する。

【0149】

S2212の後、あるいはS2208において否定された場合には、S2214に進み、現在の推定支持脚座標系の位置姿勢に対応して推定上体位置を決定する。ただし、推定支持脚座標系に対する推定上体位置の関係は、目標歩容の支持脚座標系に対する上体位置の関係に一致させる。

【0150】

以上をもってS016の自己位置推定処理を終了し、前述のごとくS018に進む。

【0151】

上記のごとく、第3実施例においては、実際のロボットの挙動を、ロボットの運動を記述するローカル座標系である推定支持脚座標系上で目標歩容通りに運動しているロボットが、各瞬間に、姿勢検出手段によって検出あるいは推定された上体姿勢の変化速度と目標歩容の上体姿勢変化速度の差の変化速度で、すなわち推定上体姿勢変化速度と目標歩容の上体姿勢変化速度の差の変化速度で、姿勢回転中心決定手段によって決定されたその瞬間の所定の姿勢回転中心まわりに、前記推定支持脚座標系と共に、回転したものであるとみなして、新たな推定支持脚座標系と推定上体位置姿勢を各瞬間（制御周期毎）に決定（更新）するとともに、着地時には、遊脚位置姿勢に応じた新たな推定支持脚座標系の位置姿勢、すなわち新たな着地点の位置と向き、さらに言い換えると新たな足跡（foot print）を、1歩毎（着地毎）に推定した。

【0152】

S2214においては、少なくとも現在の推定支持脚座標系と関節変位検出値を基に、S2110において推定着地時遊脚足平位置姿勢を求めた手法と同様の手法で、支持脚座標系に対する上体位置を求め、この位置関係に、推定支持脚座

標系に対する推定上体位置が一致するように、推定上体位置を求めても良い。この場合、推定上体位置、推定支持脚座標系および関節変位検出値に関係は、図 1 3 に示すようになる。

【 0 1 5 3 】

または、少なくとも目標歩容の関節変位とコンプライアンス補償量（本出願に先に提案した特開平10-277969号を参照のこと）を基に、キネマティクス演算によって支持脚座標系に対する上体位置・姿勢を求め、これに推定支持脚座標系に対する推定上体位置姿勢の関係を一致させても良い。

【 0 1 5 4 】

これらにより、より一層精度良く推定上体位置姿勢を決定することができる。

【 0 1 5 5 】

また、S 2 2 1 0 の代わりに、第 2 実施例における S 2 1 1 0 から S 2 1 1 4 の処理を実行しても良い。これにより、より一層精度良く、着地時の推定支持脚座標系を決定することができる。

【 0 1 5 6 】

またさらに、S 2 2 1 0 の代わりに、第 2 実施例における S 2 1 1 0 から S 2 1 1 4 の処理を実行すると共に、S 2 2 1 4 において、上記のごとく少なくとも関節変位検出値を基にキネマティクス演算によって推定上体位置・姿勢を求めても良い。

【 0 1 5 7 】

言い換えると、実際のロボットの挙動を、ロボットの運動を記述するローカル座標系である推定支持脚座標系上で、目標歩容通りの上体姿勢を維持しつつ、少なくとも関節変位検出値の通りに運動しているロボットが、各瞬間に、姿勢検出手段によって検出あるいは推定された上体姿勢の変化速度と目標歩容の上体姿勢変化速度の差の変化速度で、すなわち推定上体姿勢変化速度と目標歩容の上体姿勢変化速度の差の変化速度で、姿勢回転中心決定手段によって決定されたその瞬間の所定の姿勢回転中心まわりに、前記推定支持脚座標系と共に、回転したものであるとみなして、各瞬間に（制御周期毎に）新たな推定支持脚座標系と推定上体位置姿勢を決定（更新）するとともに、着地時には、遊脚位置姿勢に応じた新

たな推定支持脚座標系の位置姿勢、すなわち新たな着地点の位置と向き、さらに言い換えると新たな足跡 (foot print) を、1 歩毎 (着地毎) に推定するようにしても良い。

【0158】

これにより、より一層精度良く、着地時の推定支持脚座標系を決定することができるとともに、推定上体位置姿勢が不連続になることを防止することができる。

(第4 実施例)

上記のごとく決定された推定上体位置を、以降、「幾何学的推定上体位置」と呼ぶ。幾何学的推定上体位置は、グローバル座標系から見た位置である。

【0159】

一方、加速度センサとジャイロセンサの検出値を基に、公知の技術である慣性航法によって推定されるグローバル座標系から見た上体の位置・姿勢を慣性航法的推定上体位置姿勢と呼ぶ。

【0160】

幾何学的推定上体位置は、上記のごとく、床を基準にして幾何学的に推定される上体位置であるので、走りなどの空中期においては、推定精度が低下し易い。

【0161】

一方、慣性航法的推定上体位置姿勢は、片脚支持脚期、両脚支持期および空中期のいずれの時期においても、推定原理が同一であるので、いかなる時期においても短期的な精度が低下することはないが、積分が用いられるため、長期的なドリフトが発生しやすい。

【0162】

これらの特性を鑑み、第4 実施例は、慣性航法的推定上体位置姿勢を幾何学的推定上体位置で補正するようにした。

【0163】

また、幾何学的推定上体位置姿勢運動から算出される運動加速度と、加速度センサの検出値を用いて、ジャイロセンサの検出ドリフトを補正すると共に、推定上体姿勢のうちの傾き成分のドリフトを補正するようにした。



## 【 0 1 6 4 】

図 1 6 は、第 4 実施例における S 0 1 6 の自己位置推定処理のフローチャート、図 1 7 は、同制御ブロック図である。

## 【 0 1 6 5 】

第 4 実施例においては、残余の形態は第 1 実施例と同じである。

## 【 0 1 6 6 】

図 1 6 および図 1 7 を用いて、第 4 実施例における S 0 1 6 の自己位置推定処理を説明すると、まず図 1 6 の S 2 3 0 0 において、ジャイロセンサの検出値を積分して推定上体姿勢を求める。ただし、前制御周期に求めた幾何学的推定上体位置姿勢運動から算出される運動加速度と、加速度センサの検出値を用いて、ジャイロセンサの検出ドリフトを補正すると共に、推定上体姿勢のうちの傾き成分のドリフトを補正する。

## 【 0 1 6 7 】

S 2 3 0 0 の処理を詳説すると、まず、前回制御周期およびそれ以前に、後述する S 2 3 0 2 において決定した幾何学的推定上体位置姿勢の運動を基に、図 1 7 に示すごとく、幾何学的推定上体位置の 2 階微分である幾何学的推定上体加速度を算出する。補足すると、上体代表点と加速度センサの位置が一致していれば、幾何学的推定上体加速度を算出する上で、幾何学的推定上体位置姿勢のうち姿勢は必要ない。

## 【 0 1 6 8 】

次いで、加速度センサ検出値（上体加速度検出値）を、推定上体姿勢を用いてグローバル座標系に変換した加速度センサ検出値グローバル座標系換算値を求める。なお、説明を簡単にするために、ここでは、加速度センサ検出部の位置と上体代表点の位置は一致しているものとする。異なる場合には、キネマティクス演算によって、ジャイロセンサ検出値および加速度センサ検出値を上体代表点における加速度・角速度に変換するか、あるいは、上体代表点における加速度・角速度を加速度センサ検出部における加速度、ジャイロセンサにおける角速度に変換すれば良い。

## 【 0 1 6 9 】

次いで、図18aおよび図18bに示すように、加速度センサ検出値グローバル座標系換算値から幾何学的推定上体加速度を減じることにより、推定重力加速度を求める。なお、図18aは、推定上体姿勢に誤差がない場合、図18bは、推定上体姿勢に誤差（以降、これを推定上体姿勢誤差、あるいは推定上体姿勢誤差角度と呼ぶ）がある場合を示す。

## 【0170】

一方、図18aおよび図18bに示すように、推定上体姿勢を基にロボットが推定したグローバル座標系の鉛直方向（Z軸方向）に発生すると想定される重力加速度を想定重力加速度と呼ぶ。

## 【0171】

前述したように、幾何学的推定上体加速度はグローバル座標系で記述される。また、実際のロボットは、推定上体姿勢が実際の上体姿勢を正しく推定しているとみなした上で、目標歩容に追従するように運動している。言い換えると、推定上体位置姿勢を基に推定されるグローバル座標系が正しいとみなした上で、前記推定されたグローバル座標系上で目標歩容に追従するように運動している。より厳密に表現するならば、ロボットの自己位置姿勢推定処理においては、推定上体位置姿勢を基に推定されるグローバル座標系が正しいと信じ、実際のロボットの挙動を、正しいと信じているグローバル座標系に設定されるローカル座標系である推定支持脚座標系上で目標歩容通りに運動しているロボットが、各瞬間に、姿勢検出手段によって検出あるいは推定された上体姿勢の変化速度と目標歩容の上体姿勢変化速度の差の変化速度で、すなわち推定上体姿勢変化速度と目標歩容の上体姿勢変化速度の差の変化速度で、姿勢回転中心決定手段によって決定されたその瞬間の所定の姿勢回転中心まわりに、前記推定支持脚座標系と共に、回転したものであるとみなしている。

## 【0172】

したがって、推定上体姿勢が正しく、かつ加速度センサに誤差がなければ、図18aに示すように、前記想定重力加速度と前記推定重力加速度は一致する。

## 【0173】

これに対し、加速度センサに誤差がなくても、推定上体姿勢に誤差があれば、

図 1 8 b に示すように、前記想定重力加速度と前記推定重力加速度の方向には、推定上体姿勢誤差角度だけずれが生じる。すなわち、式 4 2 が成立する。

$$\text{推定上体姿勢誤差角度} = \text{想定重力加速度と推定重力加速度との間の角度}$$

…式 4 2

図 1 8 a および図 1 8 b に示すように、推定重力加速度と想定重力加速度の差を重力加速度推定誤差と呼ぶと、上記の関係から、重力加速度推定誤差は、加速度センサに誤差がなければ、推定上体姿勢の誤差によって発生し、推定上体姿勢を基にロボットが推定したグローバル座標系から見た重力加速度推定誤差の水平成分（推定重力加速度の想定重力加速度に直交する成分）と推定上体姿勢誤差角度には、式 4 3 の関係があることがわかる。ただし、式 4 3 は、重力加速度推定誤差の前後方向成分（X 成分）と推定上体姿勢誤差角度 Y 軸まわり成分の関係を表す。重力加速度推定誤差の左右方向成分（Y 成分）と推定上体姿勢誤差角度 X 軸まわり成分の関係を表す場合においては、右辺のマイナス記号を削除すれば良い。ここで、重力加速度は、正である。

$$\begin{aligned} & \text{重力加速度推定誤差の水平成分} \\ & = -\text{atan}(\text{推定上体姿勢誤差角度}) * \text{重力加速度} \end{aligned}$$

…式 4 3

本実施例においては、式 4 2 あるいは式 4 3 から算出される推定上体姿勢誤差角度を用いて、推定上体姿勢誤差が 0 に収束するように推定上体姿勢を補正するようにした。

【 0 1 7 4 】

S 2 3 0 0 の説明に戻ると、式 4 2 を用いて、現在の瞬間（厳密には、1 制御周期前の瞬間）における想定重力加速度と推定重力加速度との間の角度から推定上体姿勢誤差角度を算出する。あるいは、式 4 3 を用いて、現在の瞬間（厳密には、1 制御周期前の瞬間）における重力加速度推定誤差の水平成分から推定上体

姿勢誤差角度を算出しても良い。

【0175】

次いで、前記推定上体姿勢誤差角度をセンサ座標系（座標軸をセンサの検出軸に合わせた座標系）に変換し、積分ゲイン $K_a$ を乗じた値を積分することにより、推定ジャイロセンサドリフト（ジャイロセンサのドリフトの推定値）を求め、前記推定ジャイロセンサドリフトをジャイロセンサ検出値 $\omega_{in}$ （上体角速度検出値）から減じることにより、ドリフトを補正した角速度を求め、さらに、前記ドリフトを補正した角速度を、推定上体姿勢を用いてグローバル座標系に変換して、グローバル上体角速度を求める。

【0176】

次いで、前記推定上体姿勢誤差角度にゲイン $K_b$ を乗じた値を、グローバル上体角速度から減じた値を積分して、新たな推定上体姿勢 $\theta_{estm}$ を求める。

【0177】

なお、推定上体姿勢 $\theta_{estm}$ や角速度などは、クォータニオン、回転行列、あるいはオイラー角などで表現すれば良い。

【0178】

ジャイロセンサのドリフト（推定ジャイロセンサドリフト）を上記のごとき構成により推定する場合、推定が効果的に働くためには、推定上体姿勢誤差角度のセンサ座標系への変換値（ベクトル）のそれぞれの要素（それぞれのセンサ検出軸まわりの推定上体姿勢誤差角度、言い換えるとセンサローカル推定上体姿勢誤差角度）が、その要素に対応するジャイロセンサのドリフトの影響のみを受けて、他のジャイロセンサのドリフトの影響を受けない、あるいは、ほとんど受けないことが前提条件となる。

【0179】

言い換えると、推定上体姿勢誤差角度の $X$ （ $Y$ ）軸まわり成分の誤差は、 $X$ （ $Y$ ）軸用ジャイロセンサのドリフトの影響を受けるが、 $Y$ （ $X$ ）軸用ジャイロセンサのドリフトの影響を受けないことが前提条件となる。

【0180】

もし、 $X$ 軸用ジャイロセンサのドリフトの影響により、推定上体姿勢誤差角度

誤差のX軸まわり成分が発生した後、上体をセンサ座標系のZ軸まわりに急に90度回転させると、推定上体姿勢誤差角度誤差は、グローバル座標系において蓄積されたままであるので、結果的に推定上体姿勢誤差角度誤差のセンサローカルX軸まわり成分が、推定上体姿勢誤差角度誤差のセンサローカルY軸まわり成分に移る。したがって、前記前提条件が成立するためには、センサ座標系Z軸まわりの回転速度の絶対値が十分に小さいことが必要条件となる。

## 【0181】

よって、Z軸（上体の上下方向軸）用ジャイロセンサ検出値の絶対値が大きい時には、積分ゲイン $K_a$ を小さくするか、あるいは0にする（すなわちジャイロセンサのドリフト補正を行わない）ようにするのが望ましい。

## 【0182】

また、通常、移動時や作業時には、上体の上下軸は鉛直あるいはその近傍の姿勢になっているので、角速度センサ検出値をグローバル座標系に変換したグローバル上体角速度 $\omega_{glz}$ は、Z軸用角速度センサ検出値の値に近い値となる。

## 【0183】

よって、図19のように、角速度センサ検出値をグローバル座標系に変換したグローバル上体角速度の鉛直軸まわり角速度 $\omega_{glz}$ の絶対値が大きい時には、積分ゲイン $K_a$ を小さくするか、あるいは0にする（すなわちジャイロセンサのドリフト補正を行わない）ようにしても良い。

## 【0184】

また、角速度センサ検出値の代わりに、上体目標歩容（動作）の上体回転速度の鉛直軸成分あるいは上体上下方向軸まわり成分の絶対値が大きい時には、積分ゲイン $K_a$ を小さくするか、あるいは0にする（すなわちジャイロセンサのドリフト補正を行わない）ようにしても良い。

## 【0185】

以上をまとめて言い換えると、角速度センサ検出値および目標歩容の少なくともいずれかを基に求められる上体回転速度の鉛直軸成分あるいは上体上下方向軸まわり成分の絶対値が大きい時には、積分ゲイン $K_a$ を小さくするか、あるいは0にする（すなわちジャイロセンサのドリフト補正を行わない）と良い。

## 【0186】

また、加速度センサ検出値グローバル座標系換算値から想定重力加速度を減じた値の絶対値あるいは、幾何学的推定上体加速度の絶対値が大きい場合には、センサの誤差やロボット本体の剛性不足などにより、推定重力加速度の誤差が大きくなる傾向があるので、上記ゲイン $K_a$ を小さく、あるいは0に設定するのが良い。

## 【0187】

また、前述したごとく、実際のロボットは、推定上体位置姿勢を基に推定されるグローバル座標系が正しいとみなした上で、前記推定されたグローバル座標系上で目標歩容に追従するように運動している。したがって、支持脚が接地している状態においては、推定上体姿勢に大きな誤差があっても、実際の上体加速度は、実際の重力加速度に支配されず、前記推定されたグローバル座標系上での幾何学的推定上体加速度に、ほぼ一致するが、空中期においては、実際の上体加速度は、実際の重力加速度に支配されて加速するので、前記推定されたグローバル座標系上での幾何学的推定上体加速度の方向と大きくずれ、図18bの関係が成立しなくなる。したがって、空中期においては、幾何学的推定上体位置の精度は、比較的高精度の加速度センサとジャイロセンサを基に慣性航法によって求めた上体位置の精度よりも低下しがちとなる。したがって、空中期においても、上記ゲイン $K_a$ を小さく、あるいは0に設定するのが良い。

## 【0188】

また、空中期でなくとも、脚先端部（足平）が床と良好に接触していない状態では、足底付近の変形量推定の誤差が大きくなる傾向があるので、幾何学的推定上体加速度の精度は低下する。したがって、支持脚の足底と床との間の接触面積が小さい場合にも、上記ゲイン $K_a$ を小さく、あるいは0に設定するのが良い。

## 【0189】

なお、脚先端部（足平）が床と良好に接触している状態とは、具体的には、以下のような状態の少なくともいずれかが満足する状態、あるいは以下のうちの複数の同時に満足する状態を指す。

a) 足底と床との間の接触面積が大きい状態、例えば、足平が床にべたに接触して

いる状態（いわゆるべた足状態）

b)床反力の分布圧が比較的均一である状態

c)接地箇所が多い状態

d)目標ZMP（あるいは実床反力中心点）が足平の中央あるいは中央に近い状態

e)接地圧または床反力が高い状態

f)足平の位置姿勢変化率が小さい状態、厳密には、足底と床の相対位置姿勢関係の変化が小さい状態

上記状態の判定には、目標歩容の時期（フェーズ）、目標ZMP、床反力検出値、あるいは、本実施例では備えていないが、分布圧センサや接触センサの検出値を基に行えば良い。

#### 【0190】

以上のゲイン設定法をまとめると、角速度センサ検出値および目標歩容の少なくともいずれかを基に求められる上体回転速度の鉛直軸成分あるいは上体上下方向軸まわり成分の絶対値が大きい状態、加速度センサ検出値グローバル座標系換算値から想定重力加速度を減じた値の絶対値あるいは、幾何学的推定上体加速度の絶対値が大きい状態、空中期、あるいは、脚先端部（足平）が床と良好に接触していない状態では、上記ゲインKaを小さく、あるいは0に設定するのが良い。すなわち、これらの状態を基に総合的に判断して積分ゲインKaを決定するのが良い。

#### 【0191】

またこれらの状態の瞬時値、あるいは長期的傾向に応じて積分ゲインKaを決定しても良い。

#### 【0192】

同じ理由により、積分ゲインKbも前記ゲインKaと同様に設定する。

#### 【0193】

S2300においては、以上の処理の他に、以下のように、状況によりヨー補正も行っても良い。

#### 【0194】

すなわち、まず、ヨーレート補正を行うか否かを判定する。

【0195】

具体的には、以下の条件の少なくともいずれかひとつあるいは複数を判断条件として用意し、前記判断条件を満足している場合には、ヨーレート補正を行うと判断する。

- a) 検出された床反力の鉛直軸まわりモーメント（あるいはその微分値）の絶対値がある所定の値以内である状況
- b) 目標動作がほぼ静止である状況
- c) 足底と床の間の接触状況が良好で滑りが生じていないと考えられる状況
- d) 目標歩容の姿勢角速度とジャイロ検出値（姿勢角速度検出値）の差の絶対値がある所定の値以内である状況
- e) 目標歩容の姿勢角速度の絶対値がある所定の値以内である状況
- f) ジャイロ検出値（姿勢角速度検出値）の絶対値がある所定の値以内である状況

次いで、ヨーレート補正を行うと判定された場合には、図17に示すように、目標歩容、目標上体姿勢、目標関節変位あるいは関節変位検出値の少なくともいずれかと最新の着地時に記憶した推定支持脚座標系（以降、着地時推定支持脚座標系と呼ぶ）を基に、推定支持脚座標系に対応する床と足底との間に滑りが生じていないと想定した場合の上体姿勢（以降、滑りなし推定上体姿勢と呼ぶ）を算出し、前記推定上体姿勢と前記滑りなし推定上体姿勢の差を求め、前記差に応じたフィードバック則によりヨーレートドリフトを求め、（例えば前記差の時間微分値（または制御周期の間の前記差の変化量）にゲイン $K_e$ を乗じた値、前記差にゲイン $K_f$ を乗じた値および前記差の積分値にゲイン $K_g$ を乗じた値の和を求めることによりヨーレートドリフトを求め、）前記ヨーレートドリフトを前記角速度センサ検出値 $\omega_{in}$ から減じるようにする。ヨーレート補正を行わないと判定された場合には、直前のヨーレートドリフト値を保持し、その値を前記角速度センサ検出値 $\omega_{in}$ から減じるようにする。なお、滑りなし推定上体姿勢を求める際には、S2110において着地時の実遊脚足平位置・姿勢を推定する際と同様、床反力検出値およびまたは目標歩容の床反力を基に、足平の変形機構（円柱状ゴム、足底スポンジおよび衝撃吸収用の袋状のエアダンパー）の変形量を変形機構の力学モデル（ばねダンパーモデル等）を用いて求め、前記変形量を含めて（考慮して



）、滑りなし推定上体姿勢を求めても良い。また、モータ電流指令あるいは検出値を基に外乱オブザーバを用いて、減速機やリンクに作用する負荷を推定し、推定した負荷を基に前記減速機やリンクの変形を推定して、前記減速機やリンクの変形を含めて（考慮して）、滑りなし推定上体姿勢を求めるようにしても良い。

【0196】

または、少なくとも目標歩容の関節変位とコンプライアンス補償量（本出願に先に提案した特開平10-277969号を参照のこと）を基に、キネマティクス演算によって推定着地時遊脚足平位置姿勢を求めるようにしても良い。

【0197】

これらにより、より一層精度良く推定着地時遊脚足平位置姿勢を求めることができる。

【0198】

図16の説明に戻ると、以上のごとくS2300の処理を完了した後、次いで、S2302に進み、前述のS2202からS2214を実行して、推定支持脚座標系の位置姿勢および幾何学的推定上体位置姿勢を決定する。

【0199】

次いで、S2304に進み、加速度センサとジャイロセンサを基に慣性航法により慣性航法的推定上体位置姿勢を求めつつ、幾何学的推定上体位置姿勢と慣性航法的推定上体位置姿勢の差が0に収束するように慣性航法の上体位置姿勢を修正する。

【0200】

具体的には、図17に示すごとく慣性航法的推定上体位置 $X_{inertestm}$ の前回値と前記幾何学的推定上体位置との差を求め、前記差の時間微分値（または制御周期の間の前記差の変化量）にゲイン $K_c$ を乗じた値と、前記差にゲイン $K_d$ を乗じた値の和を求め、前記和を前記加速度センサ検出値グローバル座標系換算値と想定重力加速度 $G$ の差から減じた値を2階積分することにより、新たな慣性航法的推定上体位置 $X_{inertestm}$ を決定する。

【0201】

なお、ゲイン $K_c$ および $K_d$ は、幾何学的推定上体位置の誤差が大きく発生し易い

状況では小さく、あるいは0に設定するのが良い。支持脚の足底と床との間の接触面積が小さい場合、幾何学的推定上体位置の誤差は、大きくなる。したがって、支持脚の足底と床との間の接触面積が小さい場合には、上記ゲインKcおよびKdを小さく、あるいは0に設定するのが良い。また、特に、足平が床にべたに接触している状態（いわゆるべた足状態）の時に、上記ゲインKcおよびKdを大きくするのが良い。

#### 【0202】

以上より、例えば、走行の場合には、補正ゲインKa、Kb、KcおよびKdは、図7cに示すKのグラフのように、足底全面接地期間では高く、空中期には、0または概ね0にすれば良い。なお補正ゲインKのグラフは、大きさの変化の傾向を表してはいるが、厳密な値を表しているわけではない。また、ゲインの最大値が1となるように規格化されている。したがって、Kは、補正ゲインKa、Kb、Kc、Kdの絞り（減衰器）を意味すると考えても良い。

#### 【0203】

本実施例においては、式42あるいは式43を用いて算出される推定上体姿勢誤差を基に推定上体姿勢を補正するようにしたが、式42および式43を用いず、直接、重力加速度推定誤差の水平成分を基に推定上体姿勢を補正するようにしても良い。すなわち、式43の代わりに式44を用いても良い。

$$\text{重力加速度推定誤差の水平成分} = - \text{推定上体姿勢誤差角度} * \text{重力加速度}$$

…式44

なお、ゲインKaの設定について補足すると、空中期においては、推定上体姿勢の誤差がいかなる値であろうとも、ロボットとともに放物運動をする座標形から見ればロボット全体は無重力状態にいるのと同じであって、加速度センサの出力は、推定上体姿勢の誤差の影響を受けないので、推定重力加速度と想定重力加速度は常にほぼ一致する。厳密には、推定上体姿勢の誤差に応じて、推定重力加速度と想定重力加速度は同じ量だけ真値からずれるので、結果的に推定重力加速度と想定重力加速度は常にほぼ一致する。したがって、本質的に、空中期において

は、重力方向を推定することはできない。しかし、推定重力加速度と想定重力加速度は常にほぼ一致するので、その瞬間の推定上体姿勢誤差はほぼ0となり、上記ゲイン $K_a$ を小さく設定しなくても、推定上体姿勢誤差にゲイン $K_a$ を乗じて求められる補正量もほぼ0となり、推定上体姿勢に大きく悪影響を与える恐れは低い。

#### 【0204】

また、ゲイン $K_a$ を一定にしておいた方が、むしろ推定上体姿勢の低周波数成分(DC成分)の精度が高くなる場合もある。なぜなら、上記のごとく、ゲイン $K_a$ を乗じた値を積分した値を0にするように補正した構成は、ゲイン $K_a$ を一定にすると、理論上、重力加速度推定誤差の水平成分の長時間平均値を0にするように作用し、また、推定上体姿勢誤差が0の時には、重力加速度推定誤差の水平成分の長時間平均値は理論上0になるからである。

#### (第5実施例)

図20は、第5実施例におけるS016の自己位置推定処理のフローチャート、図21は、第5実施例におけるS016の自己位置推定処理のうちの、全体重心位置を推定する手段を示す。

#### 【0205】

第5実施例においては、第4実施例において、慣性航法的推定上体位置 $X_{inertestm}$ を決定する代わりに、後述する慣性航法的推定全体重心位置 $X_{Ginertestm}$ を、制御周期毎に決定するようにした。第5実施例においては、残余の形態は第4実施例と同じである。

#### 【0206】

図20および図21を用いて、第5実施例におけるS016の自己位置推定処理を説明すると、まず、図16のS2400において、第4実施例のS2300と同様に、ジャイロセンサの検出値を積分して推定上体姿勢を求めつつ、ジャイロセンサの検出ドリフトと推定上体姿勢のうちの傾き成分のドリフトを補正する。

#### 【0207】

次いでS2402に進み、前述のS2202からS2214を実行して、推定

支持脚座標系の位置姿勢および幾何学的推定上体位置姿勢を決定する。

# 【 0 2 0 8 】

次いで S 2 4 0 4 に進み、前記推定支持脚座標系の位置姿勢、目標上体位置姿勢（あるいは前記幾何学的推定上体位置）および関節変位検出値（あるいは目標値）を基に、第 3 実施例のごとく実際のロボットの挙動（姿勢回転）を考慮して、全体重心位置をキネマティクス演算によって算出する。このようにして算出された全体重心位置を幾何学的推定全体重心位置と呼ぶ。（図 2 1 の幾何学的推定全体重心位置算出ブロック）

次いで S 2 4 0 6 に進み、関節角検出値（あるいは目標値）、推定上体姿勢（あるいは目標上体姿勢）および前記加速度センサ検出値グローバル座標系換算値を基に、全体重心の加速度をキネマティクス演算によって算出する。以降、このようにして求められた全体重心の加速度を慣性航法的推定全体重心加速度と呼ぶ。（図 2 1 の慣性航法的推定全体重心加速度算出ブロック）

次いで S 2 4 0 8 に進み、前記慣性航法的推定全体重心加速度を基に慣性航法により慣性航法的推定全体重心位置  $X_{Ginertestm}$  を求めつつ、幾何学的推定全体重心位置と慣性航法的推定全体重心位置の差が 0 に収束するように慣性航法的全体重心位置を修正する。より具体的には、図 2 1 に示すように、前制御周期に決定した前記慣性航法的推定全体重心位置と前記幾何学的推定全体重心位置の差を求め、前記差の時間微分値（または制御周期の間の前記差の変化量）にゲイン  $K_c$  を乗じた値と、前記差にゲイン  $K_d$  を乗じた値の和を求め、前記和を前記慣性航法的推定全体重心加速度から減じた値を 2 階積分することにより、新たな慣性航法的推定全体重心位置  $X_{Ginertestm}$  を決定する。

# 【 0 2 0 9 】

最後に S 2 4 1 0 に進み、前記慣性航法的推定全体重心位置、関節変位検出値（あるいは目標値）、推定上体姿勢（あるいは目標上体姿勢）を基に、グローバル座標系における推定上体位置を推定する。（図 2 1 の推定上体位置算出ブロック）

以上が、第 5 実施例における S 0 1 6 の自己位置推定処理である。

# 【 0 2 1 0 】

第5実施例においては、空中期であるか否かを判定して、肯定された場合には、加速度センサを用いずに、全体重心は放物運動を行うという想定のもとで、前記慣性航法的推定全体重心加速度を決定しても良い。

## 【0211】

ロボットが環境から外力を受けないことが明白な場合には、空中期においては、全体重心は放物運動を行うので、これにより、より一層精度良く全体重心位置を推定することができる。

## 【0212】

なお、空中期であるか否かは、目標歩容の時期（フェーズ）、目標歩容の床反力あるいは、床反力検出値の少なくともいずれかを用いて判定すれば良い。

## 【0213】

特に、全体重心位置推定精度を極力高くしたい場合には、床反力検出値が所定の値以下であるか否かによって空中期であるか否かを判定すれば良い。

## （第6実施例）

図22は、第6実施例におけるS016の自己位置推定処理のうちの、全体重心位置を推定する手段を示す。

## 【0214】

第6実施例においては、第5実施例において加速度センサ検出値を基に慣性航法的推定全体重心位置を算出する代わりに、床反力センサ検出値を基に動力学的推定全体重心位置を算出するようにした。

## 【0215】

第6実施例においては、残余の形態は第5実施例と同じである。

## 【0216】

図22を用いて、制御周期毎の全体重心位置の推定処理を説明すると、まず、床反力センサ検出値を、関節角検出値（あるいは目標値）および推定上体姿勢（あるいは目標上体姿勢）を用いて、床反力センサ検出値をグローバル座標系の値に換算する。以降、前記換算された床反力センサ検出値を、床反力センサ検出値グローバル座標系換算値と呼ぶ。

## 【0217】

次いで、前記床反力センサ検出値グローバル座標系換算値をロボット全体質量で割った値から重力加速度を減じることにより、全体重心加速度の推定値を求める。以降、このようにして求めた全体重心加速度を動力的推定全体重心加速度と呼ぶ。

【0218】

次いで、第5実施例と同様、幾何学的推定全体重心位置を求める。（図22の幾何学的推定全体重心位置算出ブロック）

次いで、前記動力的推定全体重心加速度を2階積分することで動力的推定全体重心位置を求めつつ、幾何学的推定全体重心位置姿勢と慣性航法的推定全体重心位置の差が0に収束するように前記動力的全体重心位置を修正する。

【0219】

より具体的には、図22に示すように、前制御周期に決定した前記動力的推定全体重心位置と前記幾何学的推定全体重心位置の差を求め、前記差の時間微分値（または制御周期の間の前記差の変化量）にゲイン $K_c$ を乗じた値と、前記差にゲイン $K_d$ を乗じた値の和を求め、前記和を前記動力的推定全体重心加速度から減じた値を2階積分することにより、新たな動力的推定全体重心位置 $X_{Ginertestm}$ を決定する。

【0220】

最後に、前記動力的推定全体重心位置、関節角検出値（あるいは目標値）、推定上体姿勢（あるいは目標上体姿勢）を基に、グローバル座標系における上体位置を推定する。

【0221】

以上が、第6実施例におけるS016の自己位置推定処理のうちの、全体重心位置および上体位置を推定する手段である。

【0222】

第6実施例においても、空中期であるか否かを判定して、肯定された場合には、床反力センサを用いずに、全体重心は放物運動を行うという想定のもとで、前記動力的推定全体重心加速度を決定しても良い。

【0223】

ロボットが環境から外力を受けないことが明白な場合には、空中期においては、全体重心は放物運動を行うので、これにより、より一層精度良く全体重心位置を推定することができる。

【0224】

なお、空中期であるか否かは、目標歩容の時期（フェーズ）、目標歩容の床反力あるいは、床反力検出値の少なくともいずれかを用いて判定すれば良い。

【0225】

特に、全体重心位置推定精度を極力高くしたい場合には、床反力検出値が所定の値以下であるか否かによって空中期であるか否かを判定すれば良い。

【0226】

いずれかの脚が接地し、十分大きい床反力が発生している時期においては、いわゆる支持多角形（接地面を含む最小凸多角形、ZMP存在可能範囲あるいは全床反力中心点存在可能範囲）の中に、姿勢回転中心があると考えられる。

【0227】

この理由を以下に述べると、姿勢回転中心が支持多角形の外にあると、足底のあらゆる点が床に対して相対位置に移動していることになるので、足底と床との間のあらゆる接触点には、動摩擦が働く。動摩擦は、ロボットが床反力を制御しようとして、足を動かしても、一定値のままで、任意の値に制御することはできない。すなわち、氷の上でつるつる滑ってうまく歩けない状態と同じである。したがって、ロボットが床反力を制御しつつ安定に移動している場合には、足底と床との間のある領域においては、滑りが生じないで静摩擦が作用していると考えられる。すなわち、支持多角形の中に、姿勢回転中心があると考えられる。補足すると、ロボットの足底が完全剛体であるならば、姿勢回転中心点以外のあらゆる接触点は滑りが生じるが、実際の足底は、ゴムなどの弾性体でできているので、姿勢回転中心の近傍でも滑りは生じないと考えられる。

【0228】

また、空中期においては、ロボットは、重心を中心として振動運動をされると考えられる。

【0229】

また、上記以外の時期、すなわちいずれかの脚が接地しているが、床反力が十分に発生していない時期においては、運動の連続性を考慮すると、姿勢回転中心は、支持多角形と全体重心点位置（あるいは上体代表点位置）の間に存在すると考えられる。

#### 【0230】

以上の考察から、第3実施例以降で実行されるS2204において決定する姿勢回転中心としては、より一般的には、以下のいずれかであることが望ましい。

現在時刻  $k$  における

- a) 目標ZMP、
- b) 実ZMP（すなわち、実床反力中心点、あるいは床反力の圧力中心点）、
- c) 支持脚座標系の所定の点、例えば原点
- d) 全体重心点、
- e) 上体代表点
- f) 上記のいずれかの複数の点の内分点

いずれかの脚が接地し、十分大きい床反力が発生している時期においては、姿勢回転中心は、支持多角形の中に設定するのが良い。具体的には、上記aおよびbに設定すれば良い。あるいは、姿勢回転中心が支持多角形の中に含まれるように、上記cにおける所定の点を設定すれば良い。例えば支持脚座標系原点（通常、足首の下）に設定すれば良い。

#### 【0231】

空中期においては、姿勢回転中心は、上記dのように設定するのが良いが、全体重心点位置は上体代表点位置の近くに存在するので、上記eのように設定しても良い。

#### 【0232】

上記以外の時期、すなわちいずれかの脚が接地しているが、床反力が十分に発生していない時期においては、上記fのように設定するのが良い。

#### 【0233】

さらに、前期間での運動の連続性を考慮すると、姿勢観点中心点は、連続的に変化するように設定するのが望ましい。



【 0 2 3 4 】

いずれにしても、概ねすべての各瞬間において、ロボット全体を含む最小凸面体の面上あるいは内部に姿勢回転中心点を設定するのが望ましい。

【 0 2 3 5 】

同様に、第 1 実施例の S 2 0 0 6 および第 2 実施例の S 2 1 0 6 において決定する姿勢回転中心としては、より一般的には、以下のいずれかであることが望ましい。

遊脚着地時刻  $n$  のあるいは 1 歩の間の平均の

- a) 遊脚着地時刻  $n$  のあるいは 1 歩の間の平均の目標 ZMP 位置
- b) 遊脚着地時刻  $n$  のあるいは 1 歩の間の平均の実 ZMP (すなわち、実床反力中心点、あるいは床反力の圧力中心点) 位置
- c) 支持脚座標系の所定の点、例えば原点
- d) 遊脚着地時刻  $n$  のあるいは 1 歩の間の平均の全体重心点位置
- e) 遊脚着地時刻  $n$  のあるいは 1 歩の間の平均の上体代表点位置
- f) 上記のいずれかの複数の点の内分点

いずれにしても、ロボット全体が最新の 1 歩の間の運動によって掃引した領域を含む最小凸面体の面上あるいは内部に姿勢回転中心点を設定するのが望ましい。

【 0 2 3 6 】

または、ある瞬間における、例えば着地瞬間における、ロボット全体を含む最小凸面体の面上あるいは内部に姿勢回転中心点を設定するのが望ましい。

【 0 2 3 7 】

第 4 実施例においては、慣性航法的推定上体位置を幾何学的推定上体位置で補正する際に、慣性航法的推定上体位置を算出するための積分器に補正入力を付加的に加えていた。したがって、慣性航法的推定上体位置は、制御周期毎に修正された。これに対し、ある所定の期間、補正を加えずに慣性航法的推定上体位置を決定し、式 4 5 により、慣性航法的推定上体位置と幾何学的推定上体位置を内挿した推定上体位置である内挿的推定上体位置を求めて、これを最終的に決定した推定上体位置として出力するようにしても良い。

内挿的推定上体位置

$$= \alpha * \text{慣性航法的推定上体位置} + (1 - \alpha) * \text{幾何学的推定上体位置}$$

…式 4 5

ただし、 $\alpha$  は加重平均の重みであり、前記所定の期間の間に 1 から徐々に 0 に変化する。

【0238】

$\alpha$  が 0 になったときに、幾何学的推定上体位置を慣性航法的推定上体位置に代入（上書き）し、 $\alpha$  を 1 に戻す。

【0239】

また、所定の期間は、空中期以外の期間に設定する。

【0240】

第 5 および 6 実施例においても、第 4 実施例と同様にして、慣性航法的（動力学的）推定全体重心位置と幾何学的推定全体重心位置を内挿した推定全体重心位置である内挿的推定全体重心位置を決定するようにしても良い。

【0241】

第 4 から 6 実施例において、補正される慣性航法の上体（全体重心）位置推定値は鉛直位置成分（離床面に対する）のみであっても良い。あるいは水平成分のみ補正しても良い。

【0242】

補正ゲイン  $K_a, K_b, K_c$  ないしは  $K_d$  の値を、定常カルマンフィルタあるいは非定常カルマンフィルタの手法を用いて決定しても良い。ただし、本実施例の脚式移動ロボットにおいては、特に移動中においては、システム雑音（外乱）と観測雑音の性質が、カルマンフィルタの前提条件を十分に満足してはいないので、十分な効果を生むとは限らない。

【0243】

加速度センサおよびまたはジャイロセンサは、上体以外の部位、例えば頭部に搭載（内蔵）されていても良い。さらに頭部と上体の間に首関節がある場合、首

関節の変位指令または変位検出値を基に、加速度センサおよびまたはジャイロセンサの検出値をキネマティクス演算によって、上体代表点の加速度センサと角加速度に変換しさえすれば、残りは、上記実施例と同様に自己位置推定を行えば良い。

#### 【 0 2 4 4 】

推定位置姿勢の成分（位置鉛直成分、位置水平成分、鉛直軸まわりの向き成分、傾き成分）によって、実施例 1 から実施例 6 までの自己位置推定処理の内の異なる処理を選択しても良い。例えば、上体水平位置に関しては、第 3 実施例の自己位置推定処理に従って幾何学的に推定し、鉛直位置に関しては、第 4 実施例の自己位置推定処理に従って慣性航法的推定上体鉛直位置を幾何学的推定上体鉛直位置により補正しても良い。

#### 【 0 2 4 5 】

推定支持脚座標系および幾何学的推定上体位置を決定する際に用いる関節変位としては、上記実施例においては、目標歩容の関節変位または、関節変位検出値としたが、これらの重み付き平均でも良い。また、重みは周波数特性があっても良い。

#### 【 0 2 4 6 】

推定支持脚座標系や推定上体位置姿勢など、推定される位置姿勢を表現する時には、上記実施例のごとくグローバル座標系を基準として表現する代わりに、目標位置姿勢からの摂動分で表現しても良い。

#### 【 0 2 4 7 】

第 4 実施例以降においては、図 1 7 に示すごとく、グローバル座標系における推定重力加速度を基に、グローバル座標系における推定上体姿勢誤差角度を求め、グローバル座標系における推定上体姿勢誤差角度にゲイン  $K_b$  を乗じた値を、グローバル上体角速度  $\omega_{gl}$  を積分する積分器に付加的に入力することによって、推定上体姿勢を補正していた。すなわち、グローバル座標系において、推定上体姿勢を補正していたが、この代わりに、センサのローカル座標系（上体に固定された座標系）上で補正しても良い。具体的には、図 1 7 において、ゲイン  $K_b$  のブロックと、その出力をグローバル上体角速度  $\omega_{gl}$  から減じる加算器を削除し、積分

器  $Ka/S$  を、 $Ka/S + Kb$ 、すなわち、PI 動作ブロックに変更しても良い。

【0248】

原理上、このようにローカル座標系で補正しても、ヨーレートの高い旋回（その場旋回含む）時に、 $Kb$ によって傾斜ドリフトの収束が悪くなることはない。

【0249】

推定上体姿勢の補正において、加速度センサ検出値グローバル座標系換算値から幾何学的推定上体加速度を減じることにより推定重力加速度を求める代わりに

加速度センサ検出値グローバル座標系換算値から目標歩容の上体加速度を減じることにより推定重力加速度を求めるようにしても良い。

【0250】

実際には、目標歩容通りに運動しようとしているロボットには、姿勢回転中心まわりの姿勢回転が発生しているので、姿勢回転によって、上体加速度は、目標歩容からずれる。しかし、姿勢回転の内の姿勢傾斜は、前後左右に振動しても平均的には、0である。また、通常、姿勢回転の内のスピンに関しては、1歩毎にスピンの向きが逆に切り替わるので、平均的には0に近い。したがって、遠心力など、姿勢回転の回転方向によらずほぼ同一方向に作用する力を除けば、姿勢回転による上体加速度への影響は、正の影響と負の影響が相殺し、長期的には、ほぼ0になる。なお、ここで、「長期」とは、推定上体姿勢の補正の整定時間以上の時間を指す。

【0251】

よって、推定上体姿勢の補正のために、幾何学的推定上体加速度を用いる代わりに、目標歩容の上体加速度を用いても、補正の効果が大きく低下することはない。

【0252】

第1から第3実施例においても、第4実施例のように、幾何学的推定上体位置姿勢運動から算出される運動加速度と、加速度センサの検出値を用いて、ジャイロセンサの検出ドリフトを補正するようにしても良い。また、第1から第3実施例においても、第4実施例のように、推定上体姿勢のうちの傾き成分のドリフト

を補正するようにしても良い。また、第 1 から第 3 実施例においても、第 4 実施例のように、ヨーレート補正を行っても良い。

(第 7 実施例)

図 2 3 および図 2 4 は、第 7 実施例における脚式移動ロボットの頭部 4 を表す。頭部 4 は、パン・チルト方向に回転する首関節 1 2 0 を介して、上体 3 の上部に接続されている。

【 0 2 5 3 】

首関節 1 2 0 にも、他の関節と同じく、エンコーダ（関節変位検出器）付きのモータ 1 2 1, 1 2 2 と減速機を備え、モータ制御装置 1 2 3, 1 2 4 によって、コンピュータからの関節変位指令に追従するように制御される。

【 0 2 5 4 】

頭部 4 には、左右 2 台のビデオカメラ 1 2 5, 1 2 5 が備えられ、対象物を立体視することができるようになっている。

【 0 2 5 5 】

左右 2 台のビデオカメラの代わりに、以下のような環境認識装置・手段を備えても良い。

- a) 3 台以上のカメラによる立体視
- b) 1 台カメラで対象物の多点を認識し、三角測量の原理で距離を推定する手段
- c) レンジファインダ、スキャン式レーザー距離計等の非接触多点距離計測装置

図 2 5 は、第 7 実施例における S 0 1 6 の自己位置推定処理のフローチャートである。第 7 実施例においては、残余の形態は第 4 実施例と同じである。なお、第 4 実施例の代わりに第 5 または第 6 実施例と同じにしても良い。

【 0 2 5 6 】

第 7 実施例においては、第 4 実施例における推定自己位置姿勢を用いて、対象物を前記環境認識装置の画像の中央あるいは適切な位置に捉えるように、首関節 1 2 0 を制御して、ビデオカメラ 1 2 5, 1 2 5 の方向を制御する注視制御を行う。また、ビデオカメラ 1 2 5, 1 2 5（あるいはレンジファインダ）により、あらかじめグローバル座標系における正確な位置を記憶しているランドマーク等を認識して、前記推定自己位置姿勢を補正する。また、ビデオカメラ 1 2 5, 1

25により、ある対象物を認識して、ビデオカメラ125、125によって得た情報と前記推定自己位置姿勢から、対象物のグローバル座標系における位置姿勢または形状を認識する。

【0257】

なお、第4実施例における推定自己位置姿勢に代わりに、第3、第5および第6のいずれかの実施例の推定自己位置姿勢を用いても良い。

【0258】

以下に、図25を用いて、その動作の詳細を説明する。

【0259】

まず、S2500からS2504まで、第4実施例のS2300からS2304と同様の処理を行い、推定支持脚座標系の位置姿勢、幾何学的推定上体位置姿勢および慣性航法の上体位置姿勢を決定する。

【0260】

次いでS2506に進み、注視制御をすべきか否かを判断する。具体的には、現在の慣性航法の上体位置姿勢、目標経路および地図情報を基に、注視制御をすべきか否かを判断し、また、注視制御する場合には、いずれの対象物を注視するかを決定する。具体的には、地図情報に、各対象物に対して、その対象物を観測が観測でき、かつロボットと対象物の相対位置関係が測定できる領域（以降、観測可能領域と呼ぶ）が記述してあり、現在の慣性航法の上体位置姿勢と今後の目標経路に基づき、現在および今後の所定の期間、いずれかの観測可能領域にいるか否かを予想し、しばらくの間、観測可能領域にいると予想される場合には、注視制御をすべきと判断する。

【0261】

注視すべき対象物の指定を、あらかじめ、歩行制御部の上階層に位置する（図示しない）行動計画部が、移動経路に応じて決定するか、あるいは、オペレータがマンマシンインターフェースを介して指定しておいても良い。

【0262】

なお、地図情報は、ランドマーク、障害物、出発地、目的地、移動可能領域、道などに関する、位置、形状特徴および観測可能領域などの情報であり、移動前

に、あらかじめメモリに記憶されているものとする。

【 0 2 6 3 】

次いで S 2 5 0 8 に進み、前記注視すべき対象物の地図上の位置と前記推定上体位置姿勢との相対関係を求める。

【 0 2 6 4 】

次いで S 2 5 1 0 に進み、前記相対関係から、カメラ画像の中央に対象物が映るように目標首関節変位をキネマティクス演算により決定する。

【 0 2 6 5 】

次いで S 2 5 1 2 に進み、目標首関節変位に追従するように、首関節モータを制御する。具体的には、首関節モータドライバに対して目標首関節変位を出力し、首関節モータドライバが、目標首関節変位に首関節変位検出値が追従するようにモータの電流を制御する。

【 0 2 6 6 】

次いで S 2 5 1 4 に進み、対象物がランドマークであるか否かを判定する。具体的には、検索した対象物の属性の情報からランドマークであるか否かを判定する。

【 0 2 6 7 】

S 2 5 1 4 において肯定される場合には、S 2 5 1 6 に進み、カメラ画像、地図情報、および推定上体位置姿勢、首関節変位から、幾何学演算によって、現在実際のロボットの支持脚足平位置姿勢に対応する支持脚座標系（以降、視覚推定支持脚座標系と呼ぶ）のグローバル座標系における位置姿勢を推定する。

【 0 2 6 8 】

S 2 5 1 6 の後、さらに S 2 5 1 8 に進み、前記視覚推定支持脚座標系の位置姿勢と推定支持脚座標系の位置姿勢の差が 0 に収束するように、推定支持脚座標系の位置姿勢を修正する。

【 0 2 6 9 】

S 2 5 1 8 の処理をより詳細に説明すると、まず前記視覚推定支持脚座標系の位置姿勢と推定支持脚座標系の位置姿勢の差を求める。次いで、ある所定のゲイ

ン $K_e$ と前記差の積を求め、前記積を推定支持脚座標系の位置姿勢に加えた位置姿勢を新たな推定支持脚座標系の位置姿勢とする。

【0 2 7 0】

すなわち、式 4 6 によって新たな推定支持脚座標系を決定する。言い換えると、前記視覚推定支持脚座標系の位置姿勢と推定支持脚座標系の位置姿勢の内挿（すなわち内分あるいは重み付き平均）によって、新たな推定支持脚座標系の位置姿勢を決定する。

新たな推定支持脚座標系

= 推定支持脚座標系の位置姿勢

+  $K_e$  \* (視覚推定支持脚座標系の位置姿勢 - 推定支持脚座標系の位置姿勢)

…式 4 6

ゲイン $K_e$ は、各推定値の確からしさを基に、決定される新たな推定支持脚座標系が、真値として最も確率が高くなる値になるように決定しても良い。

【0 2 7 1】

S 2 5 1 4 において否定される場合には、S 2 5 2 0 に進み、カメラ画像、地図情報、および推定上体位置姿勢、首関節変位から対象物形状・位置を算出する。

以降、前記算出された対象物形状・位置を視覚推定対象物形状・位置と呼ぶ。

S 2 5 2 0 の後、S 2 5 2 2 に進み、視覚推定対象物形状・位置により、地図情報の対象物形状・位置を修正する。具体的には、視覚推定対象物形状・位置と地図情報の対象物形状・位置の差が 0 に収束するように地図情報の対象物形状・位置を修正する。

【0 2 7 2】

より具体的には、まず前記視覚推定対象物形状・位置と地図情報の対象物形状・位置の差を求める。次いで、ある所定のゲイン $K_f$ と前記差の積を求め、前記積を地図情報の対象物形状・位置に加えた形状・位置を新たな地図情報の対象物形状・位置とする。



## 【0273】

すなわち、式47によって新たな地図情報の対象物形状・位置を決定する。言い換えると、前記視覚推定対象物形状・位置と地図情報の対象物形状・位置の内挿（すなわち内分あるいは重み付き平均）によって、新たな地図情報の対象物形状・位置を決定する。

新たな地図情報の対象物形状・位置

= 地図情報の対象物形状・位置

+  $K_f$  \* (視覚推定対象物形状・位置 - 地図情報の対象物形状・位置)

…式47

S2518またはS2522の処理の完了をもって、S016の自己位置推定処理の完了とする。

## 【0274】

視覚推定支持脚座標系の位置は、慣性航法的推定上体位置を基に推定されており、さらに、慣性航法的推定上体位置は、推定支持脚座標系を基に算出される幾何学的推定上体位置姿勢に収束するように決定されるので、S2518の動作により、推定支持脚座標系の位置姿勢を変更すると、視覚推定支持脚座標系の位置も遅れて変更される。したがって、S2518の動作においては、収束を速めようとしてゲイン $K_e$ を大きくし過ぎると発振する恐れがある。ゲイン $K_e$ を大きくしても、発振しにくくするためには、視覚推定支持脚座標系の位置姿勢と推定支持脚座標系の位置姿勢の差に応じて推定支持脚座標系の位置姿勢を修正すると共に、直接的に慣性航法的推定上体位置も修正して、視覚推定支持脚座標系の位置の変更の遅れを短くすれば良い。

## 【0275】

推定上体位置姿勢と視覚推定上体位置姿勢の差、または、視覚推定対象物形状・位置と地図情報の対象物形状・位置の差がある所定の許容値を越えているならば、誤認識と判断して、その値による推定上体位置姿勢または地図情報の対象物形状・位置の修正をしないようにしても良い。

【 0 2 7 6 】

## 【発明の効果】

第1実施例においては、実際のロボットの挙動を、ロボットの運動を記述するローカル座標系である推定支持脚座標系上で目標歩容通りに運動しているロボットが、1歩の間に、姿勢検出手段によって検出あるいは推定された姿勢と目標姿勢の差（あるいは前記差の鉛直成分）の分だけ、姿勢回転中心決定手段によって決定された所定の姿勢回転中心まわりに、前記推定支持脚座標系と共に、回転したものであるとみなして、着地時の遊脚位置姿勢に応じた新たな推定支持脚座標系の位置姿勢、すなわち着地点の位置と向きを、1歩毎（着地毎）に推定するようにしたので、着地点の位置と向きを精度良く推定することができる。特に、加速度が水平方向や鉛直方向に激しく変動している状態、走行時などのように全脚が床から離れている状態、または足底と床の間の回転滑りなどによってロボット全体に姿勢回転（またはスピン）が生じている状態においても、着地点の位置と向きを精度良く推定することができる。

【 0 2 7 7 】

第2実施例においては、実際のロボットの挙動を、ロボットの運動を記述するローカル座標系である推定支持脚座標系上で、目標歩容通りの上体姿勢を維持しつつ、少なくとも関節変位検出値の通りに運動しているロボットが、1歩の間に、姿勢検出手段によって検出あるいは推定された姿勢と目標姿勢の差の分だけ、姿勢回転中心決定手段によって決定された所定の姿勢回転中心まわりに、前記推定支持脚座標系と共に、回転したものであるとみなして、着地時の遊脚位置姿勢に応じた新たな推定支持脚座標系の位置姿勢、すなわち着地点の位置と向きを、1歩毎（着地毎）に推定するようにしたので、着地点の位置と向きをより一層精度良く推定することができる。

【 0 2 7 8 】

第3実施例においては、実際のロボットの挙動を、ロボットの運動を記述するローカル座標系である推定支持脚座標系上で目標歩容通りに運動しているロボットが、各瞬間に、姿勢検出手段によって検出あるいは推定された上体姿勢の変化速度と目標歩容の上体姿勢変化速度の差の変化速度で、すなわち推定上体姿勢変

化速度と目標歩容の上体姿勢変化速度の差の変化速度で、姿勢回転中心決定手段によって決定されたその瞬間の所定の姿勢回転中心まわりに、前記推定支持脚座標系と共に、回転したものであるとみなして、新たな推定支持脚座標系と推定上体位置姿勢を各瞬間（制御周期毎）に決定（更新）するとともに、着地時には、遊脚位置姿勢に応じた新たな推定支持脚座標系の位置姿勢、すなわち新たな着地点の位置と向きを、1歩毎（着地毎）に推定したようにしたので、着地点の位置と向きをより一層精度良く推定すると共に、ロボットの自己位置姿勢を連続的に精度良く推定することができる。

【0279】

第4実施例においては、慣性航法によって推定上体位置姿勢（慣性航法的推定上体位置）を求めると共に、第3実施例によって決定される推定上体位置である幾何学的推定上体位置を用いて補正するようにしたので、ロボットの自己位置姿勢ならびに着地位置方向をより一層精度良く推定することができる。

【0280】

第5実施例においては、第4実施例において慣性航法的推定上体位置Xinertestmを決定する代わりに、慣性航法による推定全体重心位置を、制御周期毎に決定するようにしたので、ロボットの自己位置姿勢ならびに着地位置方向を第4実施例と同様に、精度良く推定することができる。

【0281】

第6実施例においては、第5実施例において加速度センサ検出値を基に慣性航法的推定全体重心位置を算出する代わりに、床反力センサ検出値を基に動力学的推定全体重心位置を算出するようにしたので、ロボットの自己位置姿勢ならびに着地位置方向を第5実施例と同様に、精度良く推定することができる。

【0282】

第7実施例においては、幾何学自己位置推定演算を用いることによって、あるいは幾何学自己位置推定演算と慣性航法演算を複合的に用いることによって、連続的に（制御周期毎に）推定される自己位置姿勢と、あらかじめ記憶しておいた地図上の床面や障害物などの対象物のグローバル座標系における位置を基に、ロ

ボットに搭載されたビデオカメラ等の環境認識手段が注視すべき方向を決定しているので、前記対象物を、連続的に前記環境認識手段の画像の中央あるいは適切な位置に捉えることができる。

## 【0283】

また、前記環境認識手段が前記対象物を認識する時に、前記環境認識手段によって得た情報と前記推定した自己位置姿勢から、グローバル座標系における対象物の位置姿勢または形状を精度良く認識することができる。

## 【0284】

また、さらに、前記対象物の地図上の位置・形状を連続する複数の画像を基に補正するので、ノイズや誤認識の影響を受けにくい。

## 【0285】

また、前記環境認識手段が、ランドマーク等あらかじめ正確な位置情報を記憶している対象物の位置情報と、前記環境認識手段によって得た前記対象物に対するロボットの相対位置情報に基づき、幾何学自己位置推定演算を用いることによって推定した自己位置姿勢、あるいは幾何学自己位置推定演算と慣性航法演算を複合的に用いることによって推定した自己位置姿勢を補正し、前記自己位置姿勢の推定の精度を高めることができる。

## 【0286】

また、さらに、前記自己位置姿勢を連続する複数の画像を基に補正するので、ノイズや誤認識の影響を受けにくい。

## 【0287】

また、第4実施例においては、運動加速度の影響を受けにくく、精度良くロボットの姿勢傾斜を推定することができる。また、これは他の実施例にも適用できる。

## 【0288】

また、第4実施例においては、運動加速度の影響を受けにくく、精度良くロボットの姿勢傾斜を推定することができる。また、これは他の実施例にも適用できる。

## 【0289】

また、第4実施例においては、ヨーレートが補正され、精度良くロボットの姿勢（特に水平方向成分の向き）並びに位置を推定することができる。また、これは他の実施例にも適用できる。

【0290】

さらに、第4実施例においては、より一層精度良く精度良くロボットの姿勢（特に水平方向成分の向き）並びに位置を推定することができる。また、これは他の実施例にも適用できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

第1実施形態の説明図。

【図2】

第1実施形態の説明図。

【図3】

第1実施形態の説明図。

【図4】

第1実施形態の説明図。

【図5】

第1実施形態の説明図。

【図6】

第1実施形態の説明図。

【図7】

第1実施形態の説明図。

【図8】

第1実施形態の説明図。

【図9】

第1実施形態の説明図。

【図10】

第1実施形態の説明図。

【図11】

第 1 実施形態の説明図。

【図 1 2】

第 2 実施形態の説明図。

【図 1 3】

第 2 実施形態の説明図。

【図 1 4】

第 3 実施形態の説明図。

【図 1 5】

第 3 実施形態の説明図。

【図 1 6】

第 4 実施形態の説明図。

【図 1 7】

第 4 実施形態の説明図。

【図 1 8】

第 4 実施形態の説明図。

【図 1 9】

第 4 実施形態の説明図。

【図 2 0】

第 5 実施形態の説明図。

【図 2 1】

第 5 実施形態の説明図。

【図 2 2】

第 6 実施形態の説明図。

【図 2 3】

第 7 実施形態の説明図。

【図 2 4】

第 7 実施形態の説明図。

【図 2 5】

第 7 実施形態の説明図。

【符号の説明】

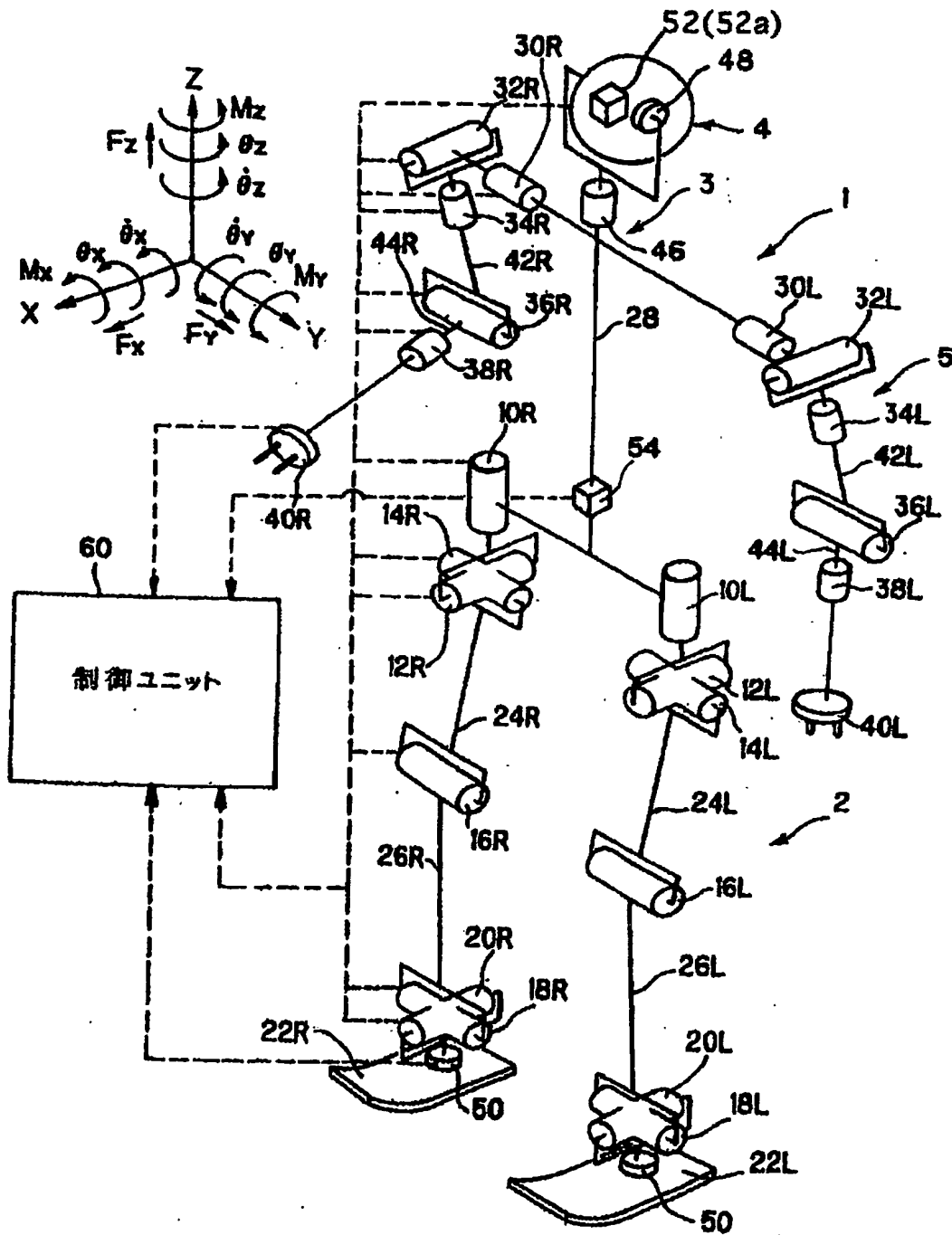
1 …ロボット、 6 0 …制御ユニット。

【書類名】

図面

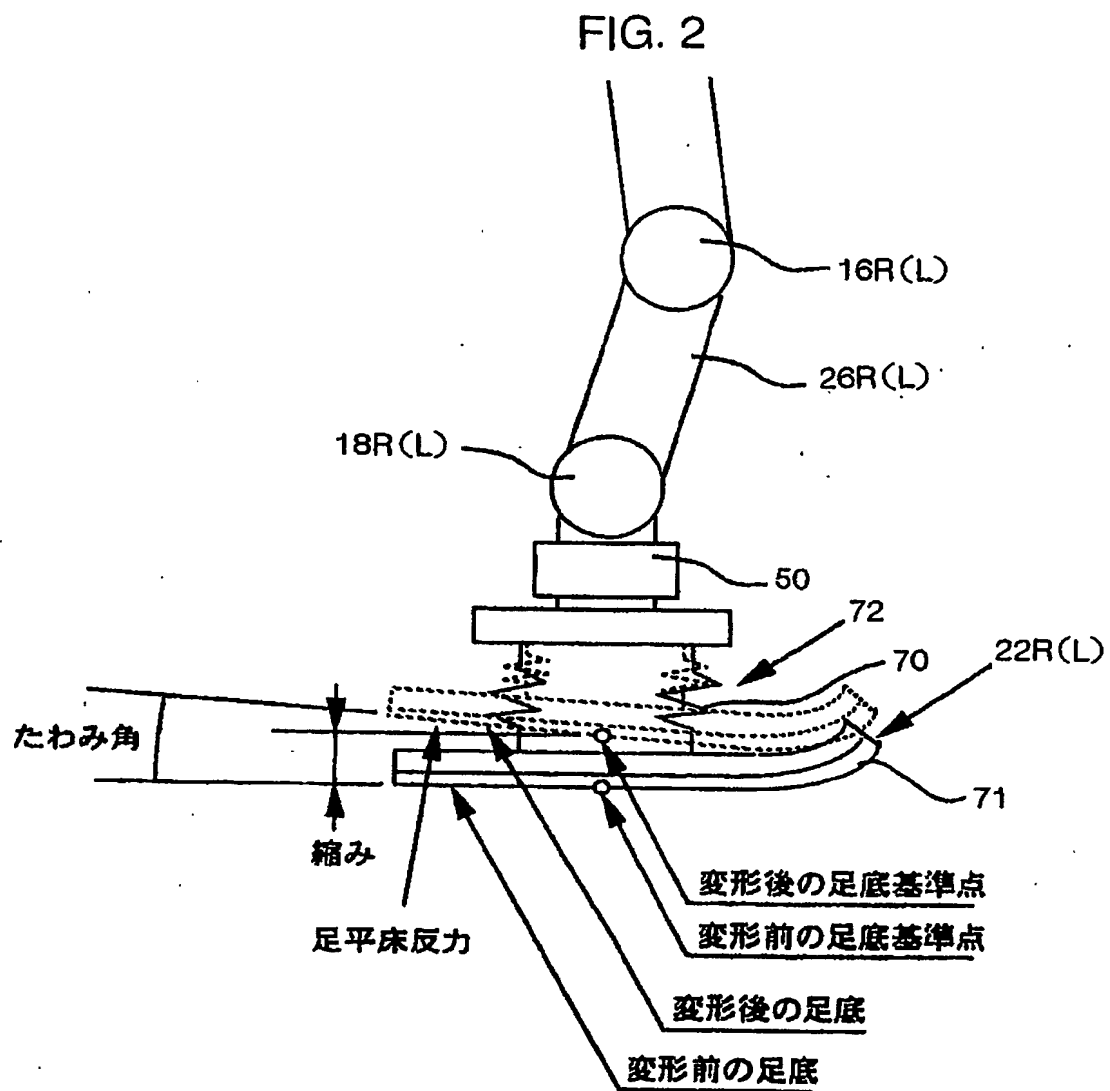
【図 1】

FIG. 1



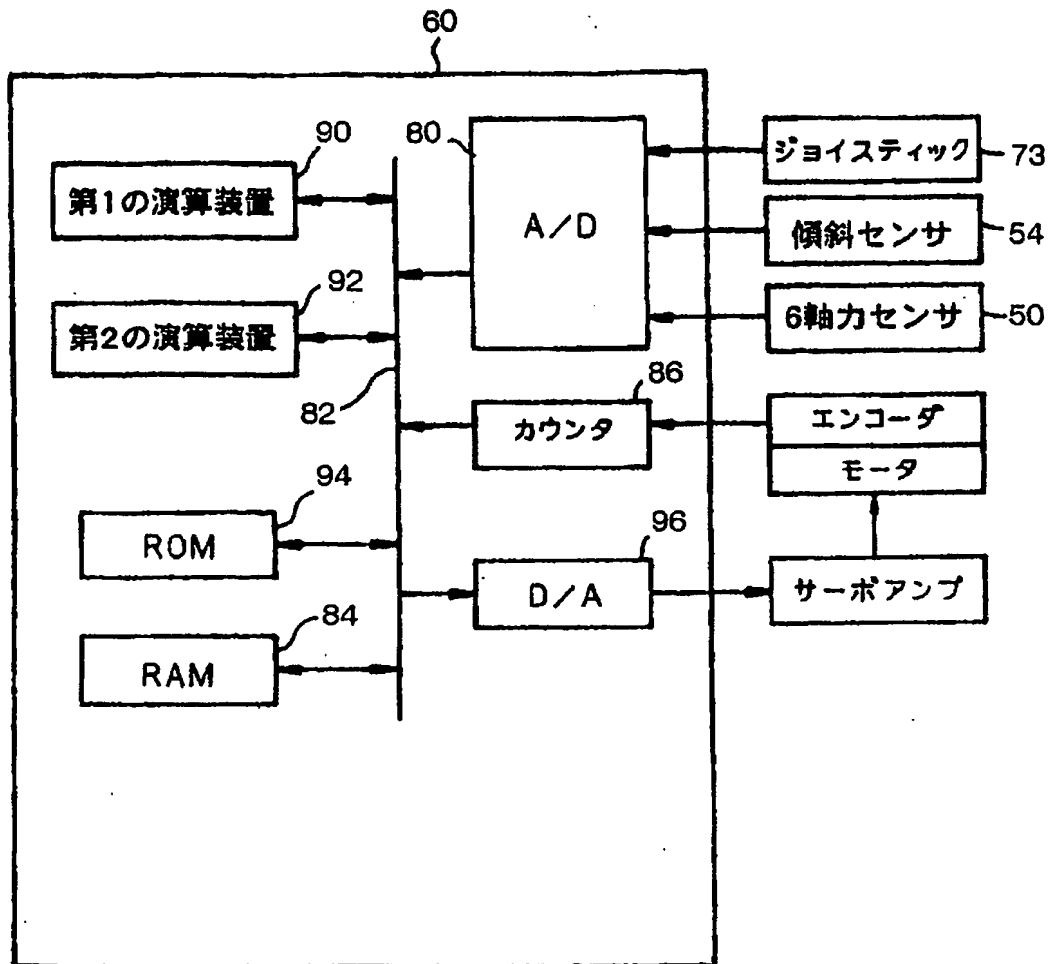


【図 2】



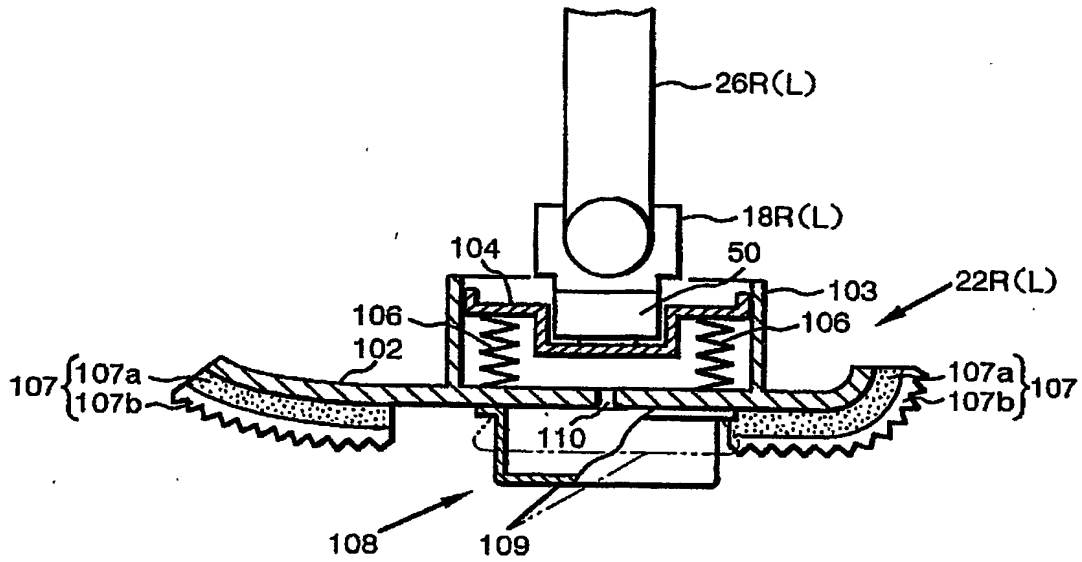
【図 3】

FIG. 3



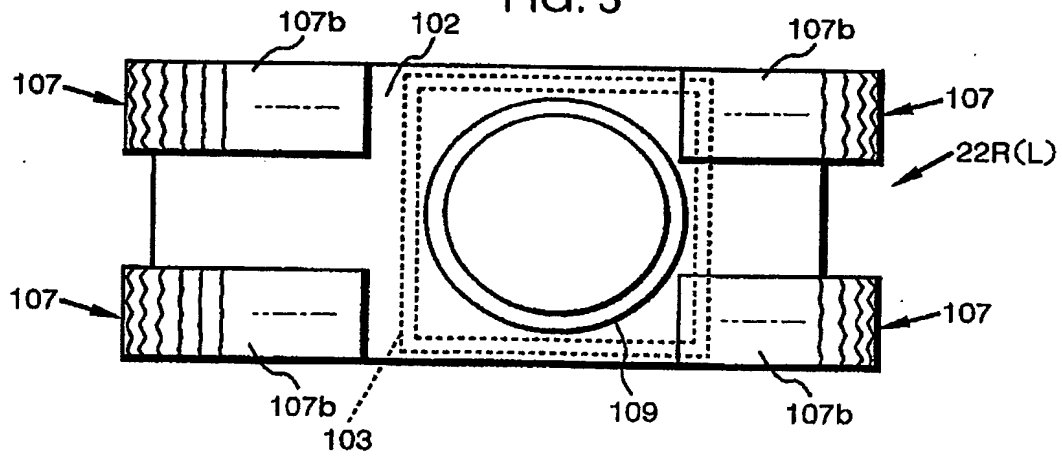
【図 4】

FIG. 4



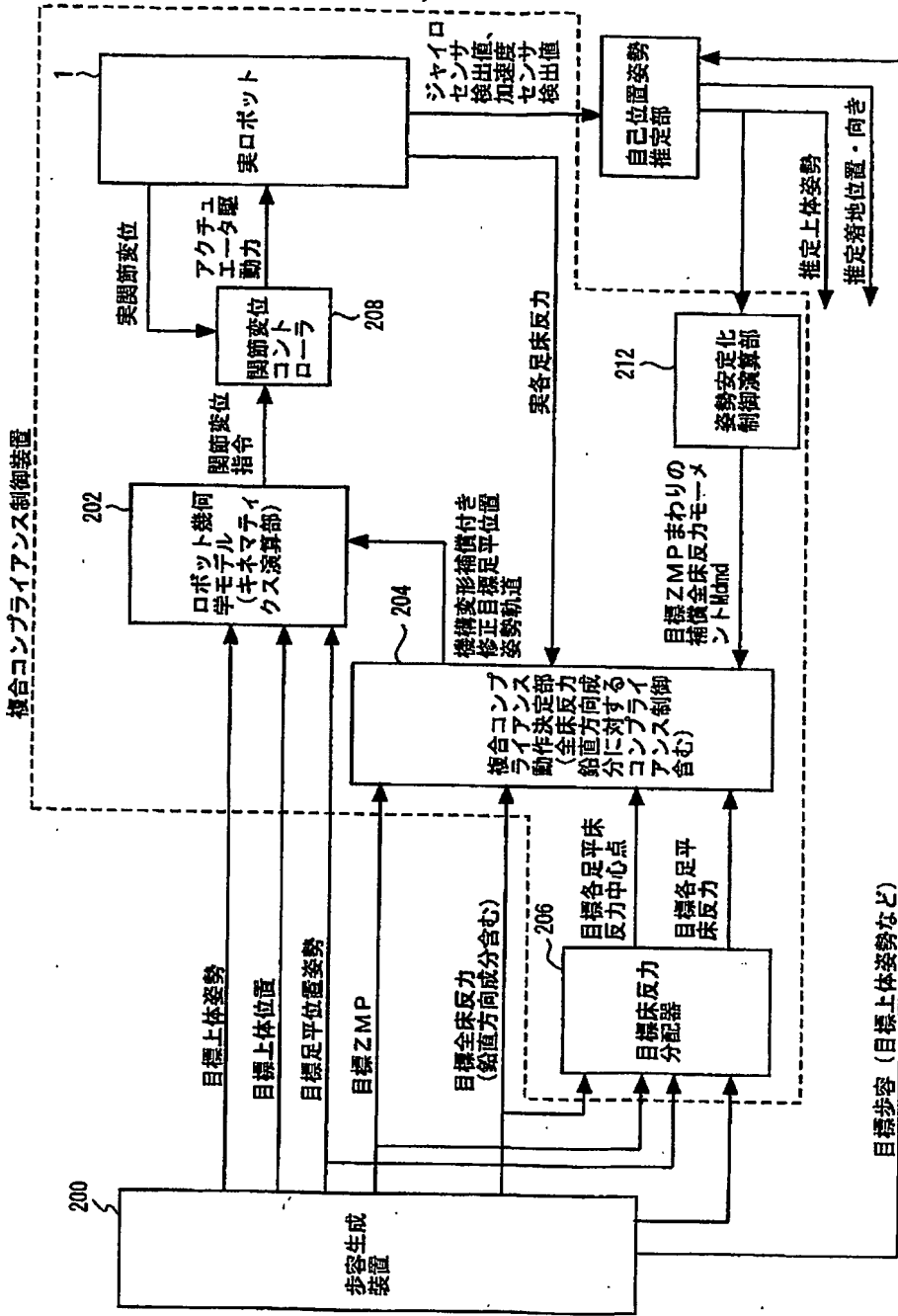
【図 5】

FIG. 5



【図 6】

FIG. 6



脚式移動ロボットの機能ブロック図

【図 7】

FIG. 7

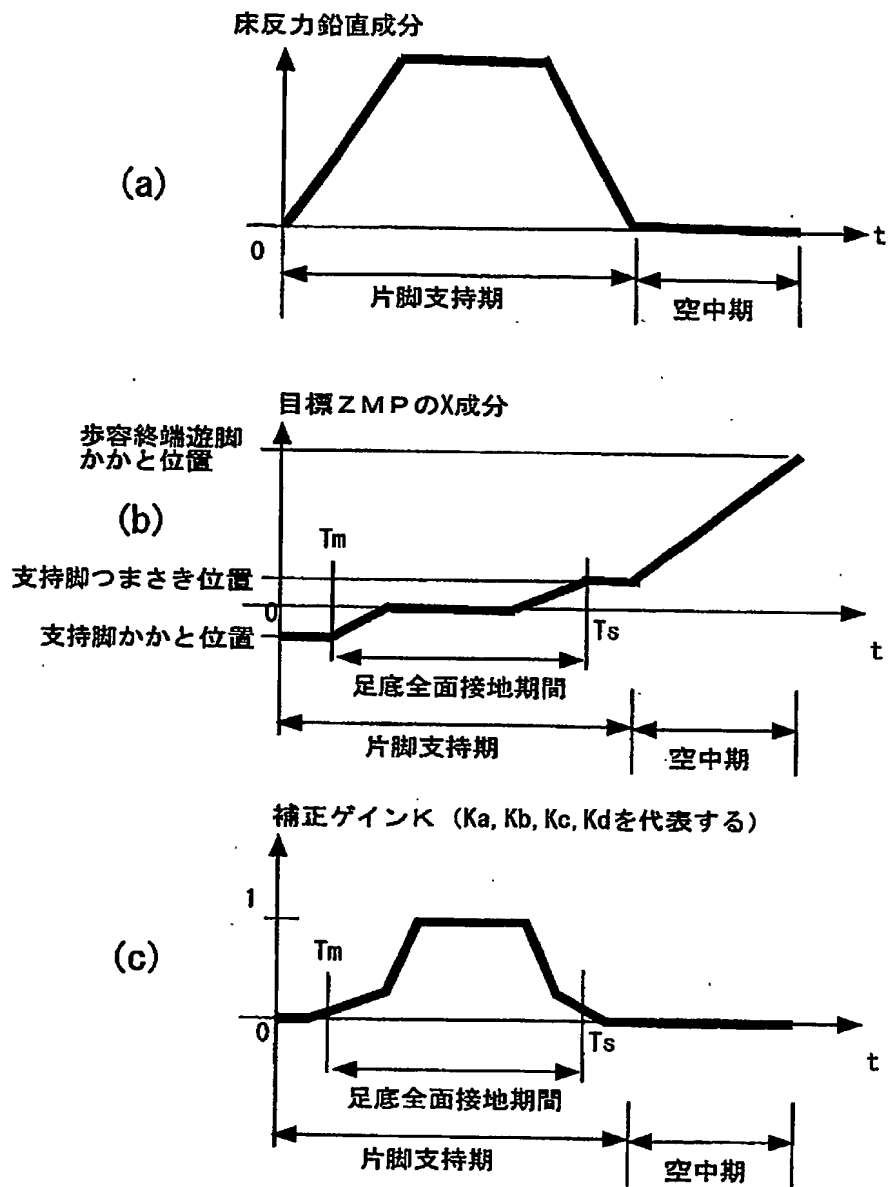


図7. 床反力鉛直成分および目標ZMPと修正ゲインの関係

【図 8】

FIG. 8

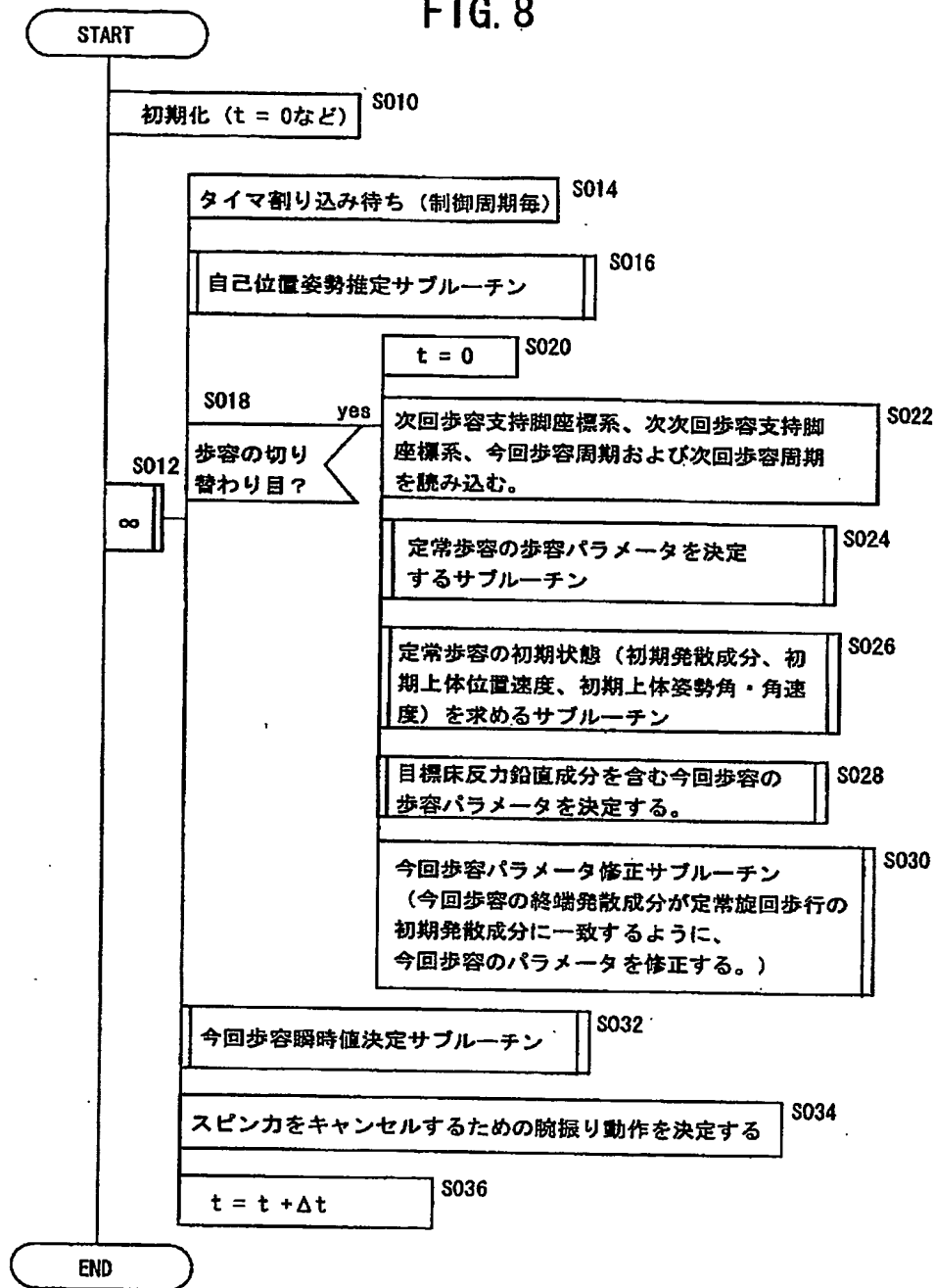


図8 歩容生成部と自己位置姿勢推定部の処理のフローチャート

【图9】

FIG. 9

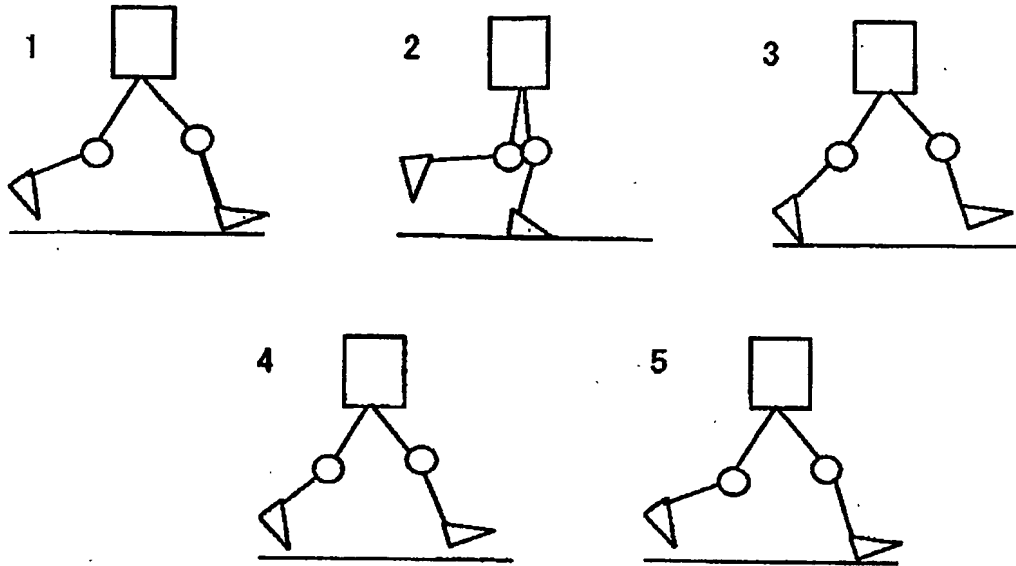


图9 走行

【図10】

FIG. 10

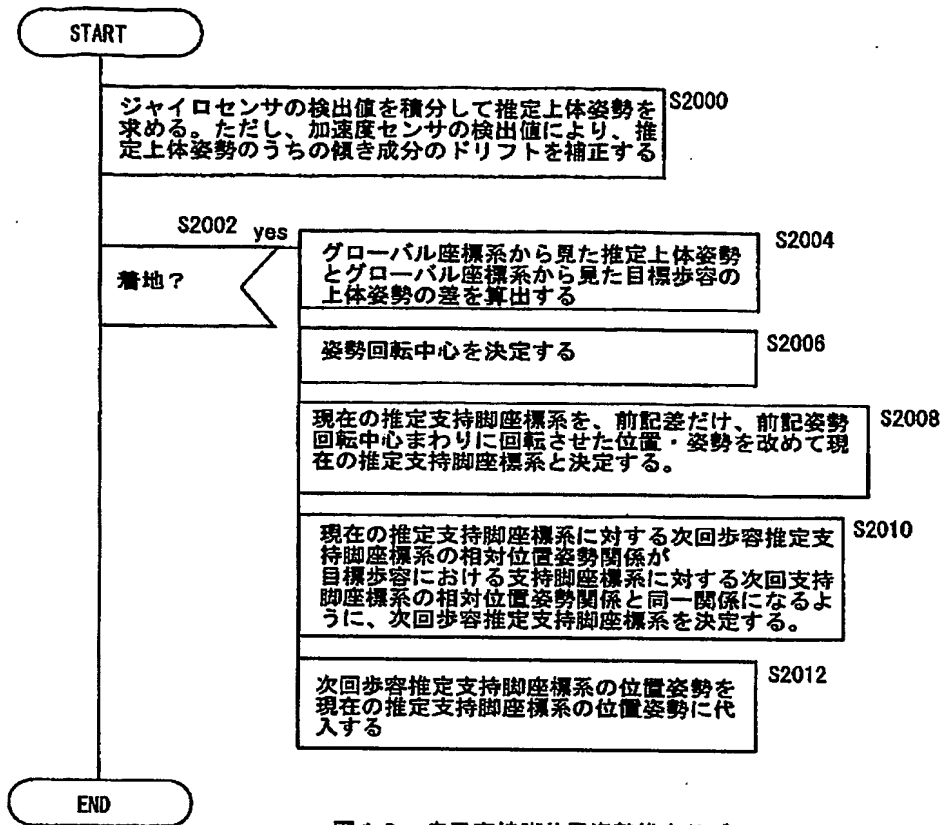


図10. 自己支持脚位置姿勢推定サブルーチン  
フローチャート



【図 11】

FIG. 11

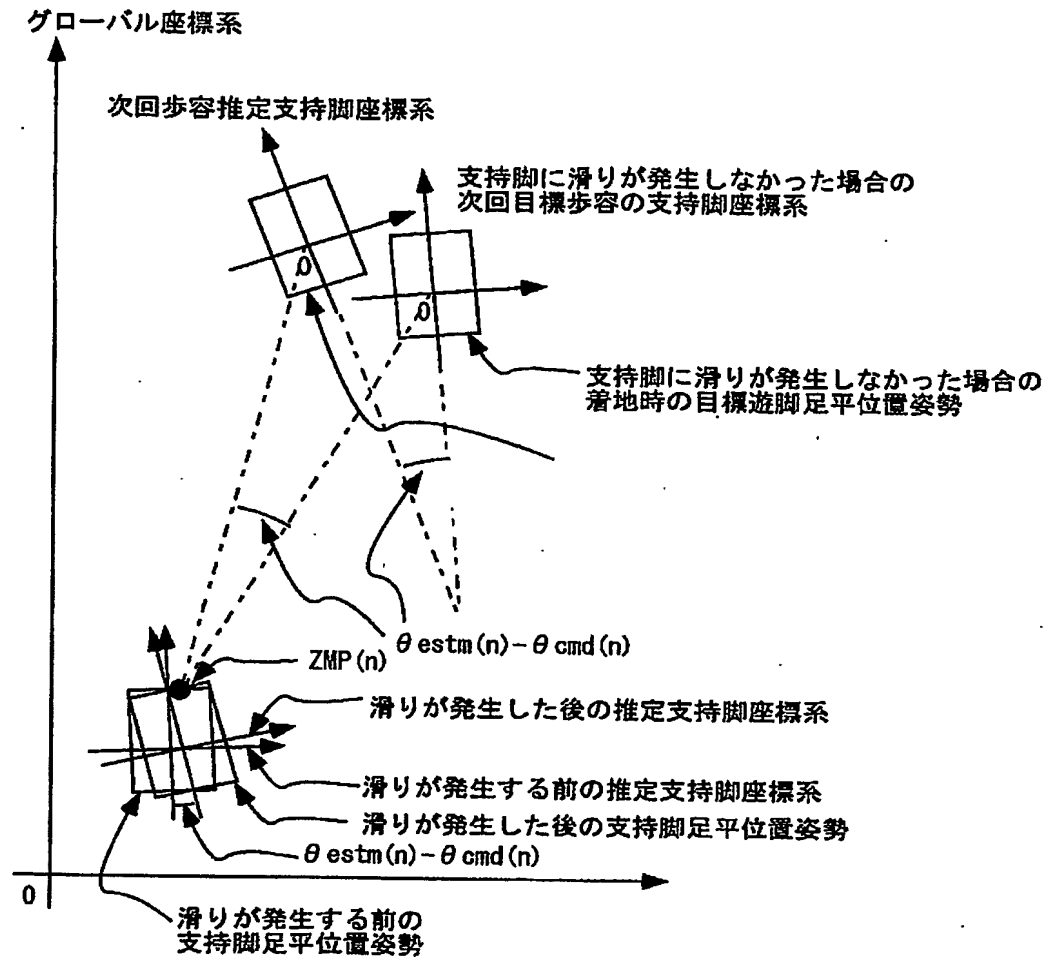


図 11. 自己位置推定 (遊脚着地時刻  $n$  に目標 ZMP まわりに滑り回転)

【図 12】

FIG. 12

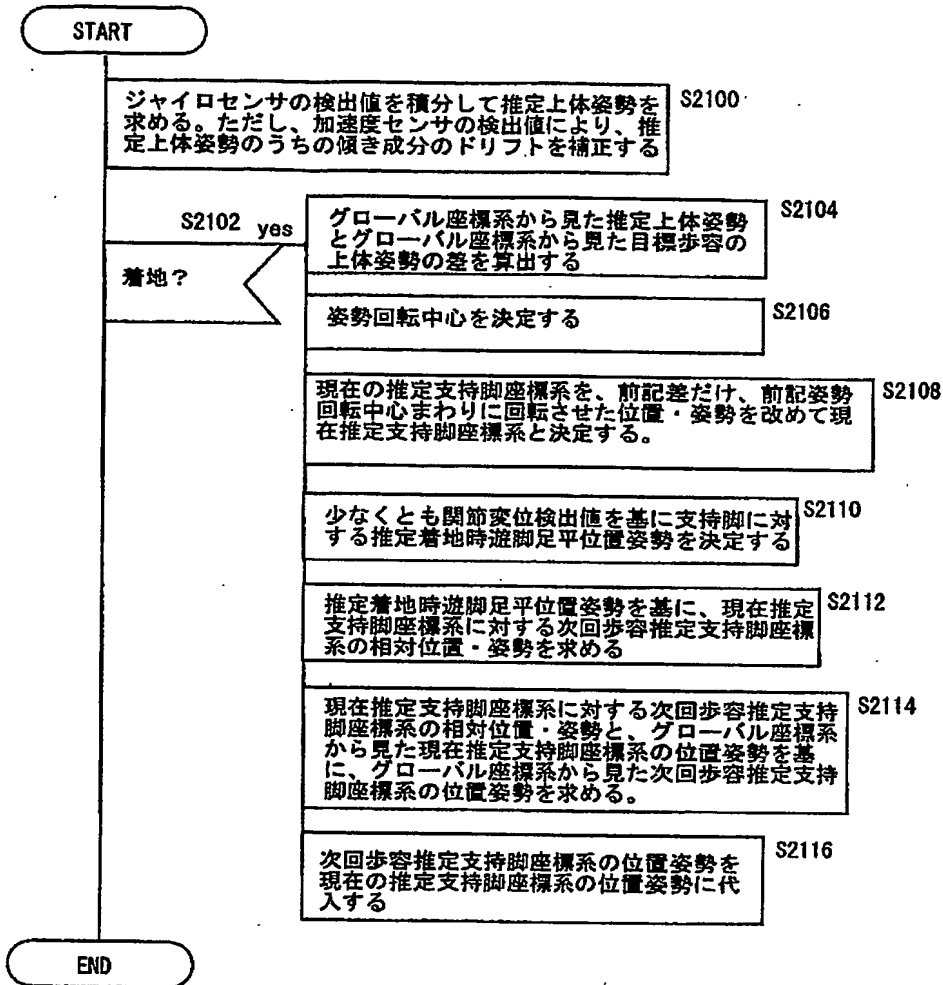


図 12 第 2 実施例の自己支持脚足平位置姿勢  
推定サブルーチンフローチャート  
(案関節変位利用)

【図 13】

FIG. 13

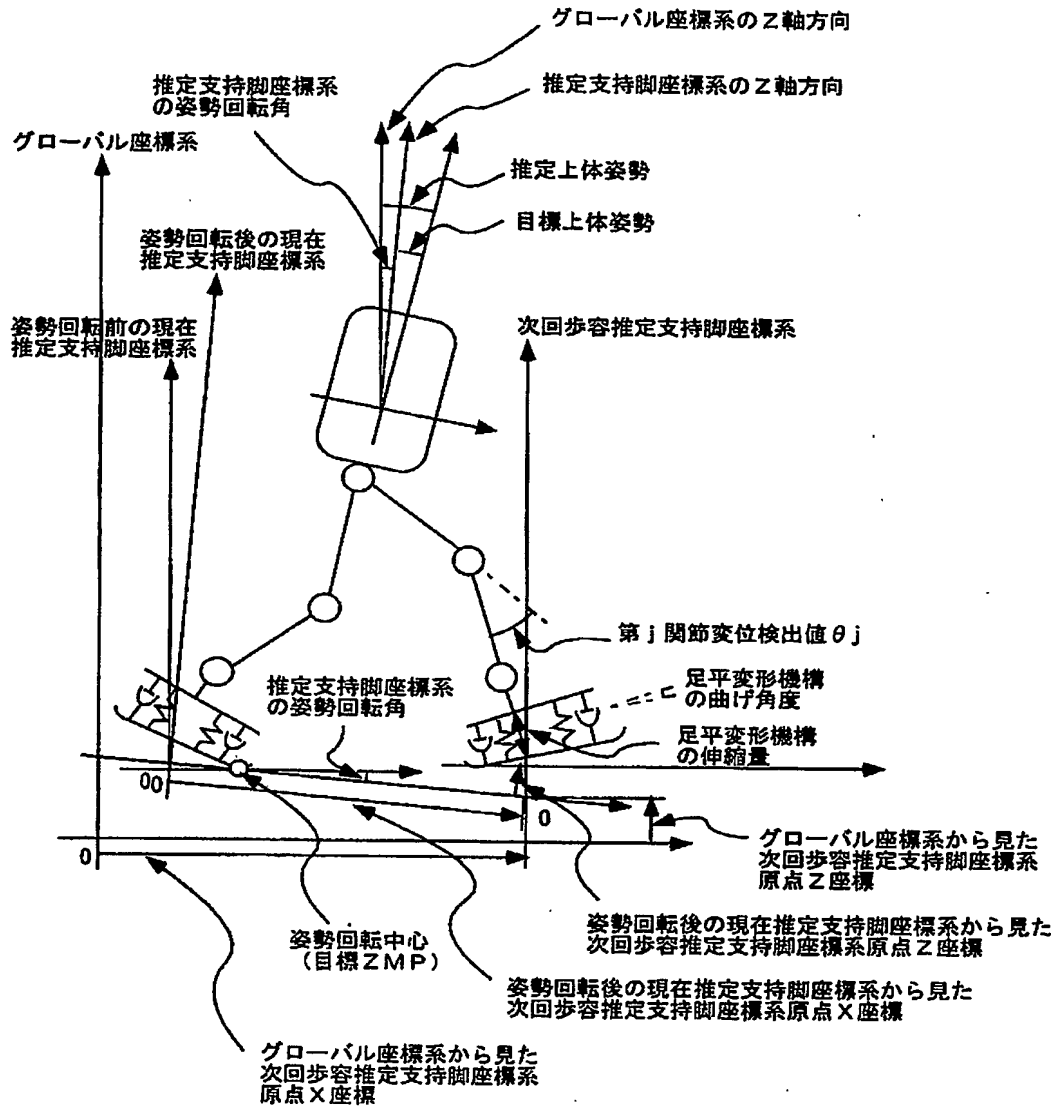


図 13. 幾何学的推定上体位置

【図 14】

FIG. 14

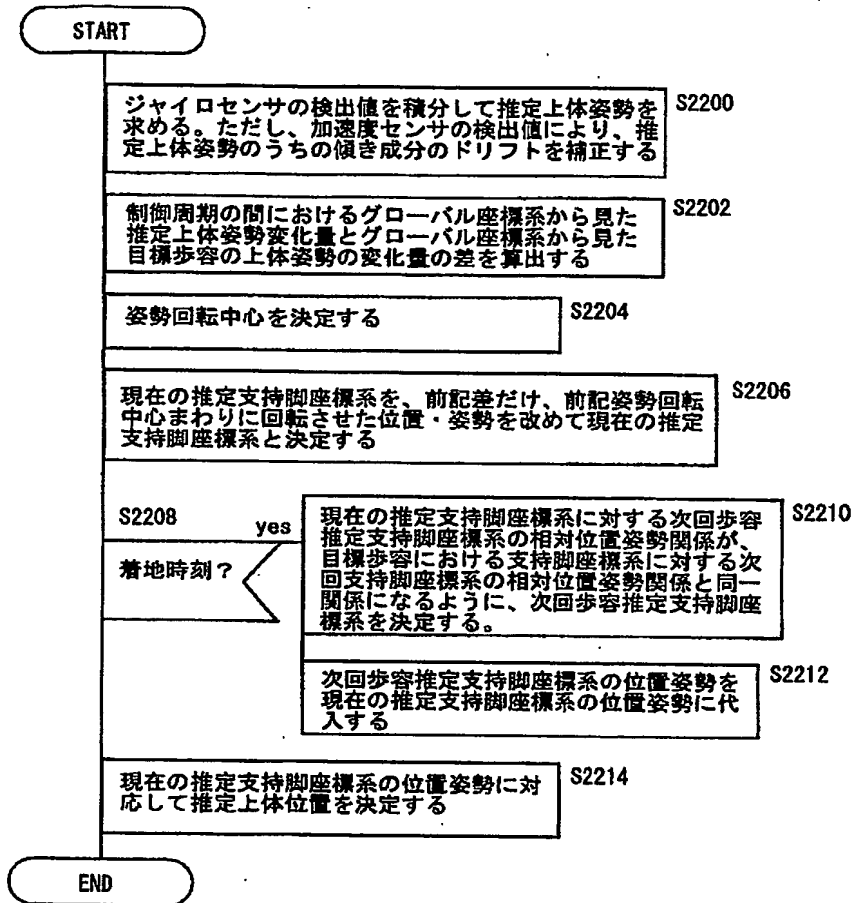


図 14. 第 3 実施例の自己支持脚位置姿勢推定サブルーチンフローチャート（連続推定）

【図15】

FIG. 15

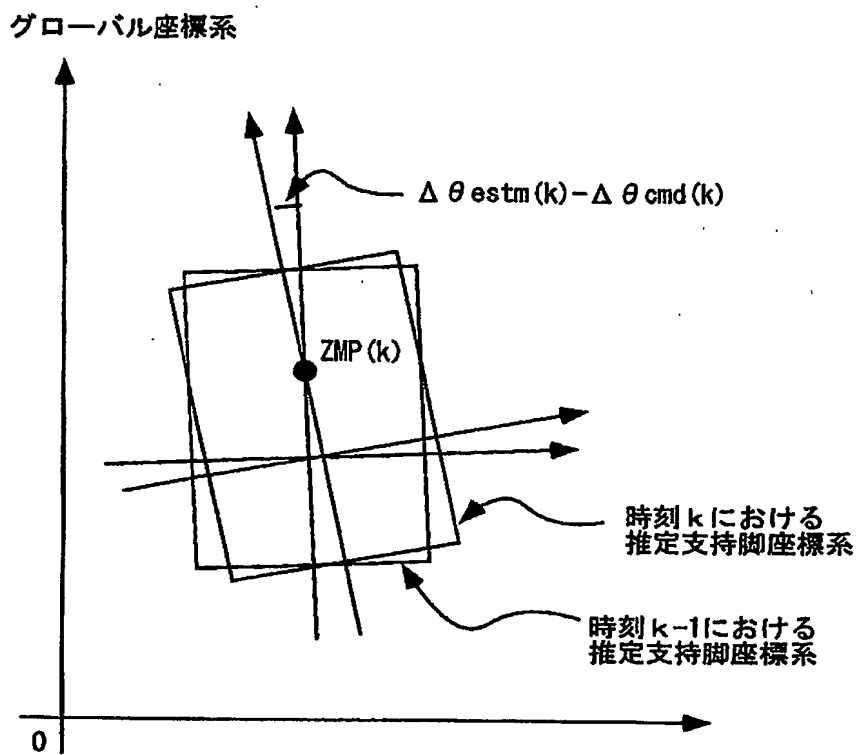


図15. 自己位置推定 (各瞬間に目標ZMPまわりに滑り回転)

【図 16】

FIG. 16

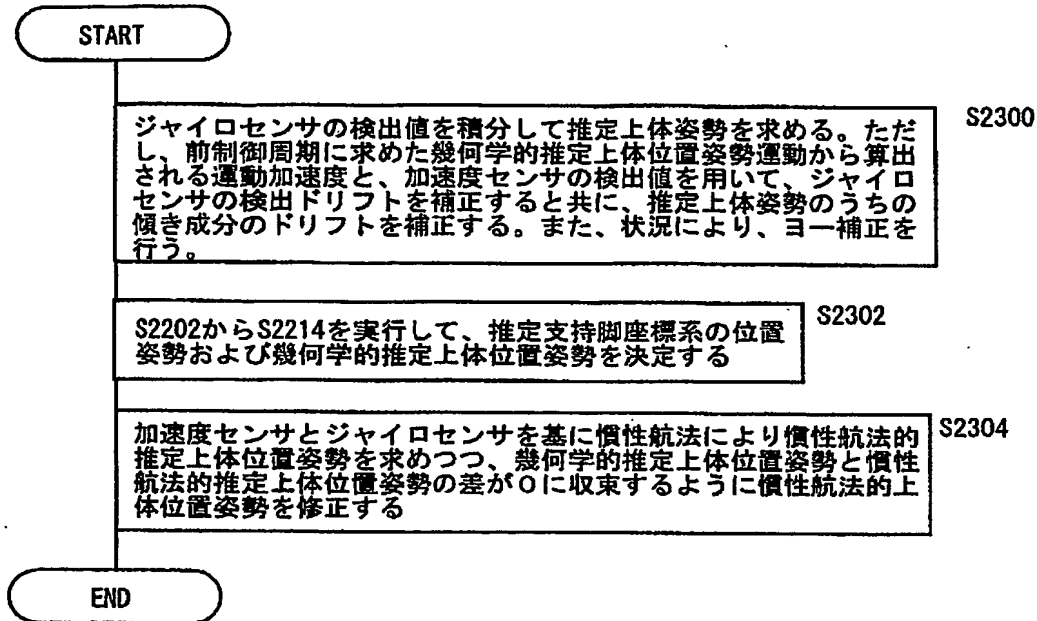


図16. 第4実施例の自己支持脚位置姿勢推定サブルーチンフローチャート（幾何学的自己位置推定と慣性航法の融合）

【図 17】

FIG. 17

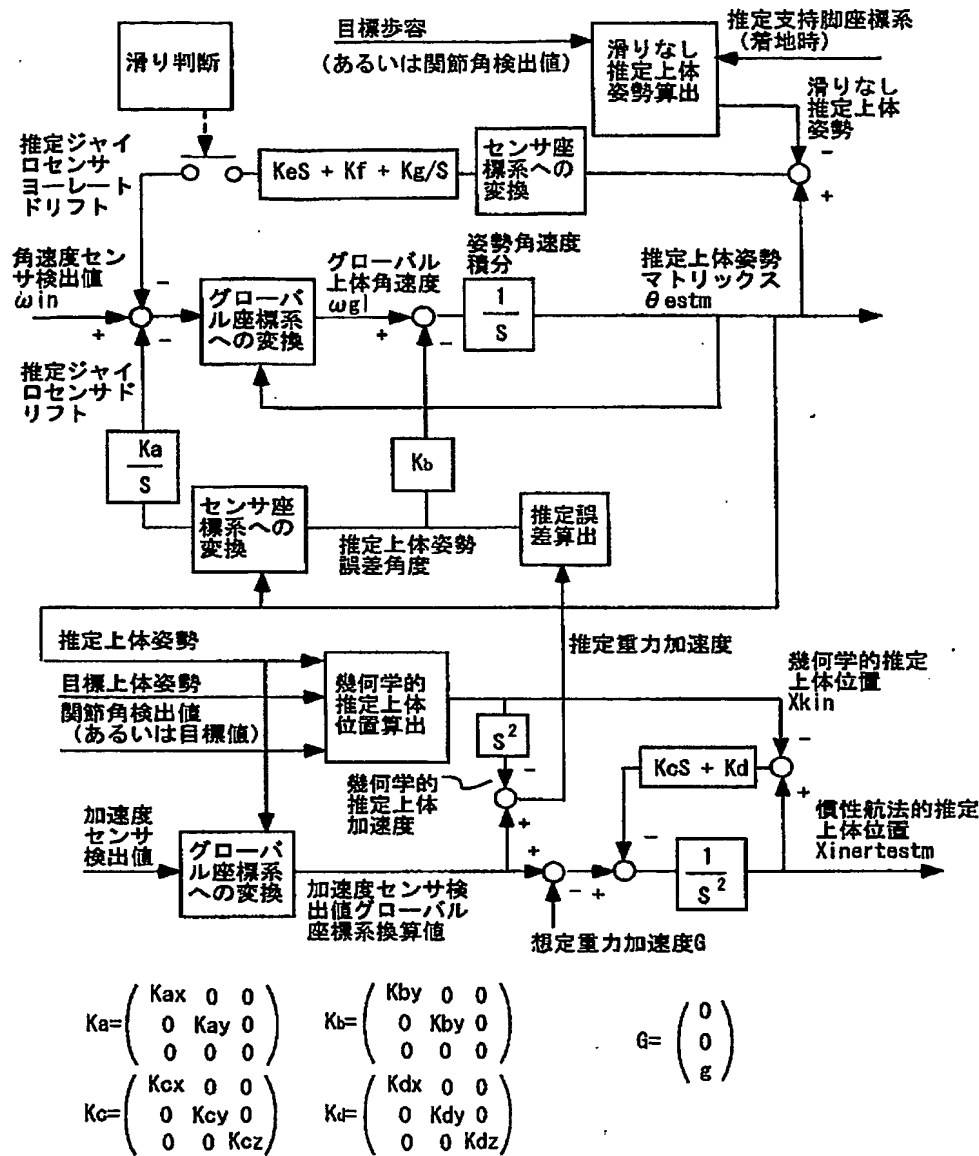


図 17. 自己位置姿勢推定処理ブロック図

【図 18】

FIG. 18 (a)

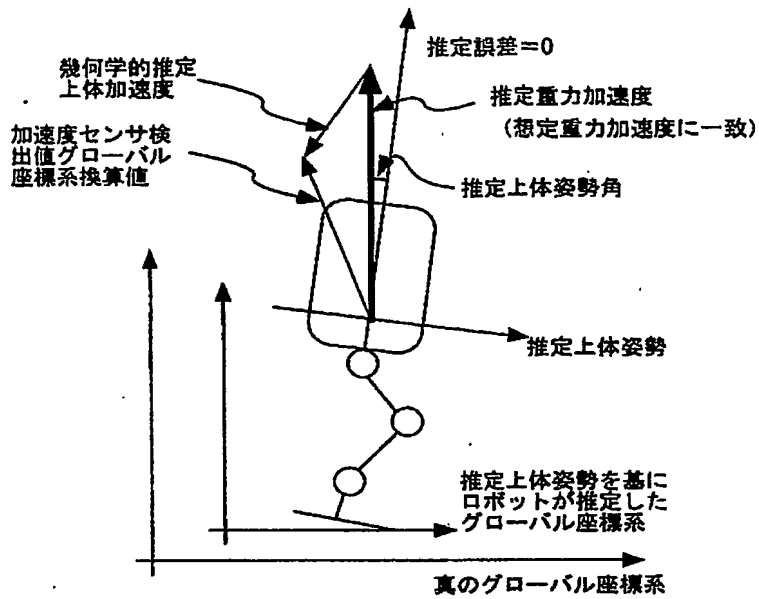


FIG. 18 (b)

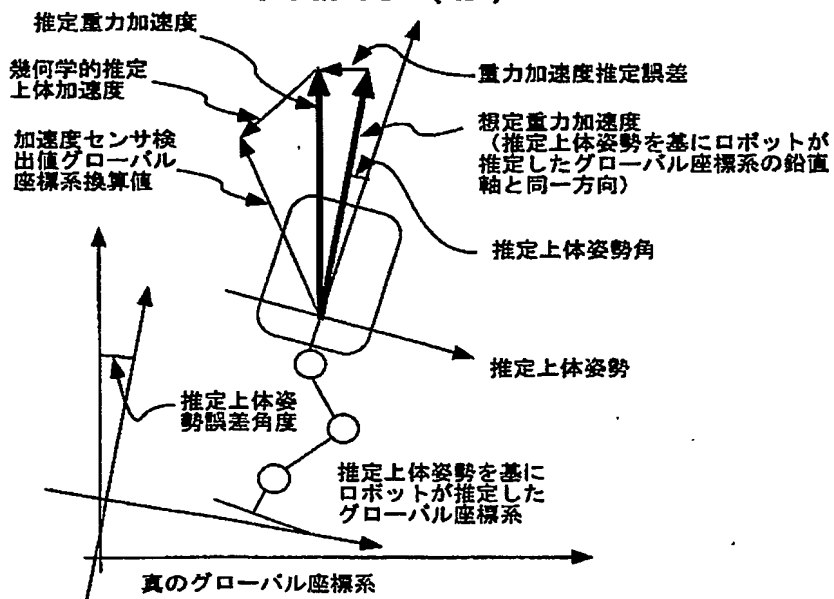


図 18. 推定上体姿勢の誤差と加速度センサ検出値との関係



【図 1 9】

FIG. 19

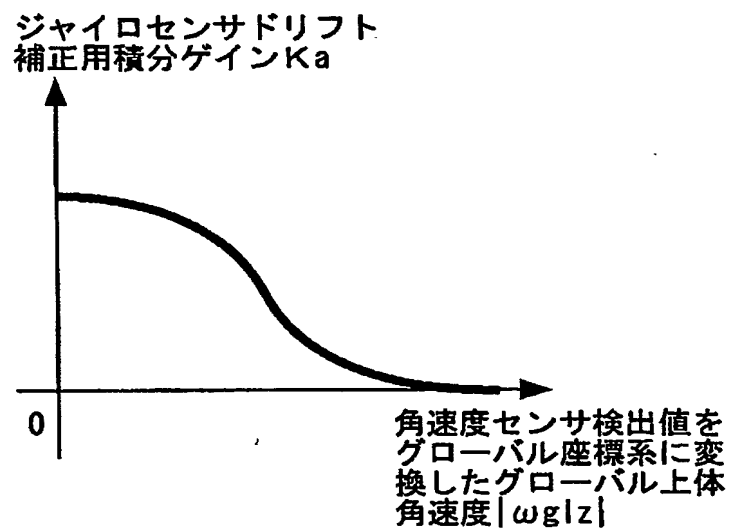


図 1 9. 床反力鉛直成分および目標 ZMP と修正ゲインの関係

【図 2 0】

FIG. 20

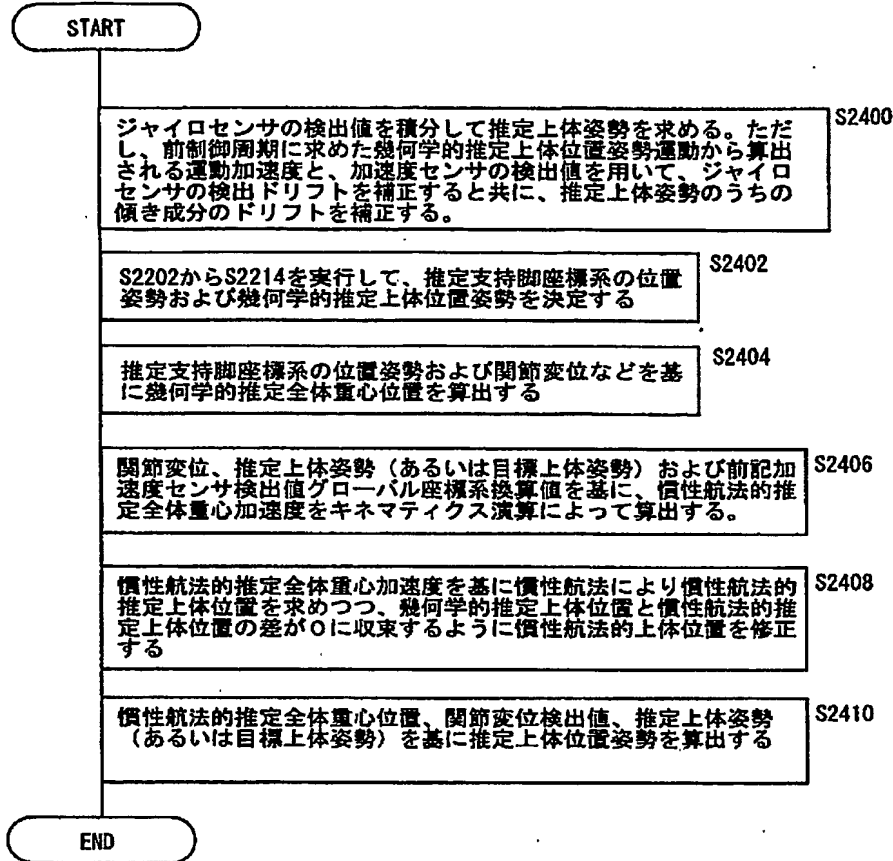


図 2 0 第 5 実施例の自己支持脚位置姿勢推定サブルーチンフローチャート（幾何学的自己位置推定と慣性航法の融合）

【図 2 1】

FIG. 21

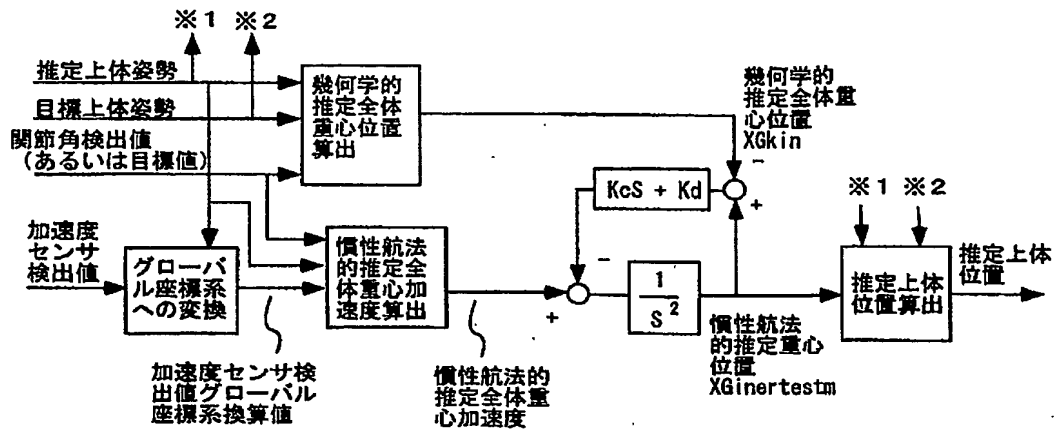


図 2 1. 自己位置姿勢推定処理ブロック図  
(第 5 実施例)

【図 2 2】

FIG. 22

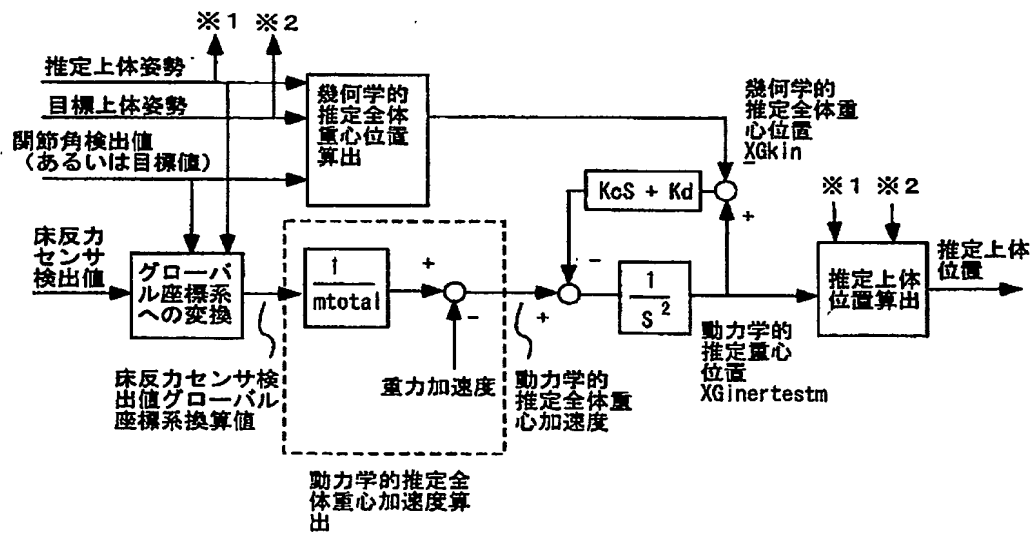
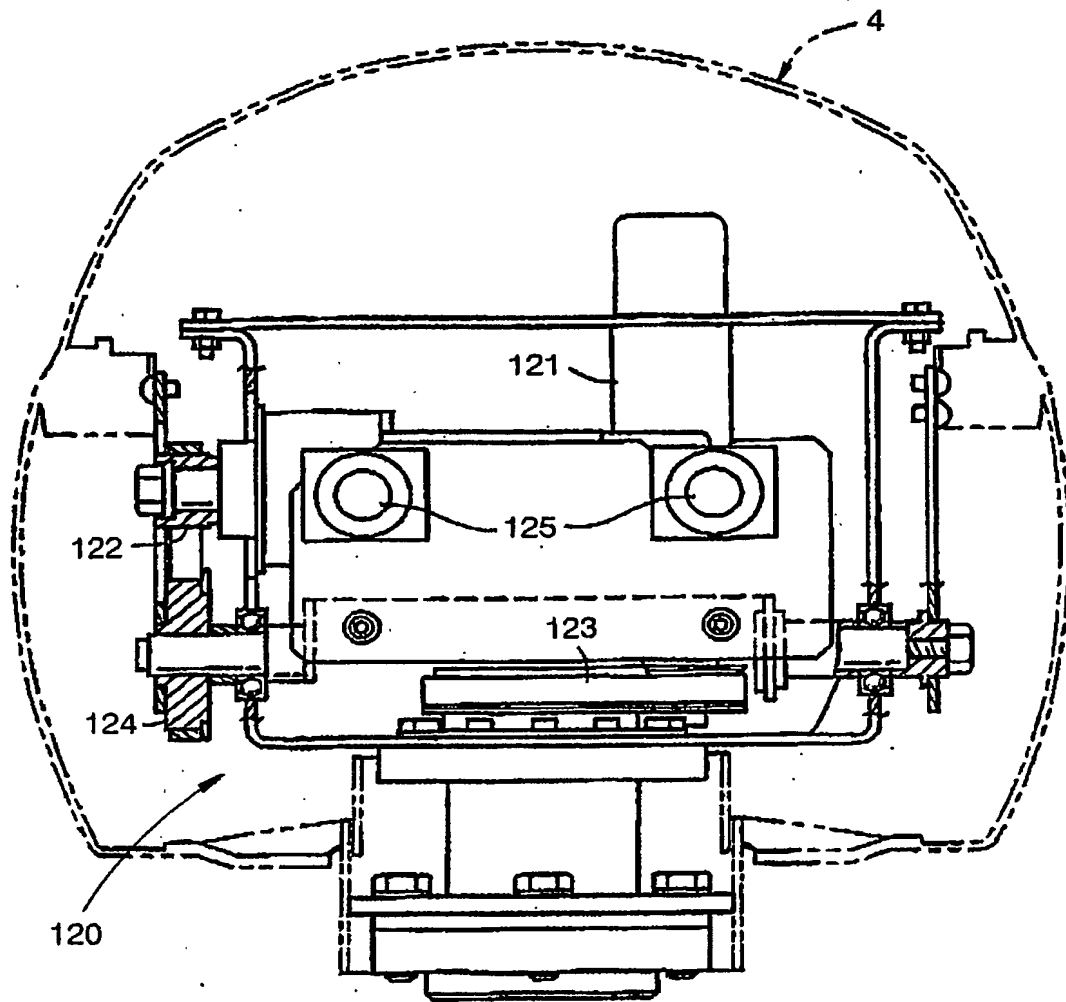


図 2 2. 自己位置姿勢推定処理ブロック図  
(第 6 実施例)

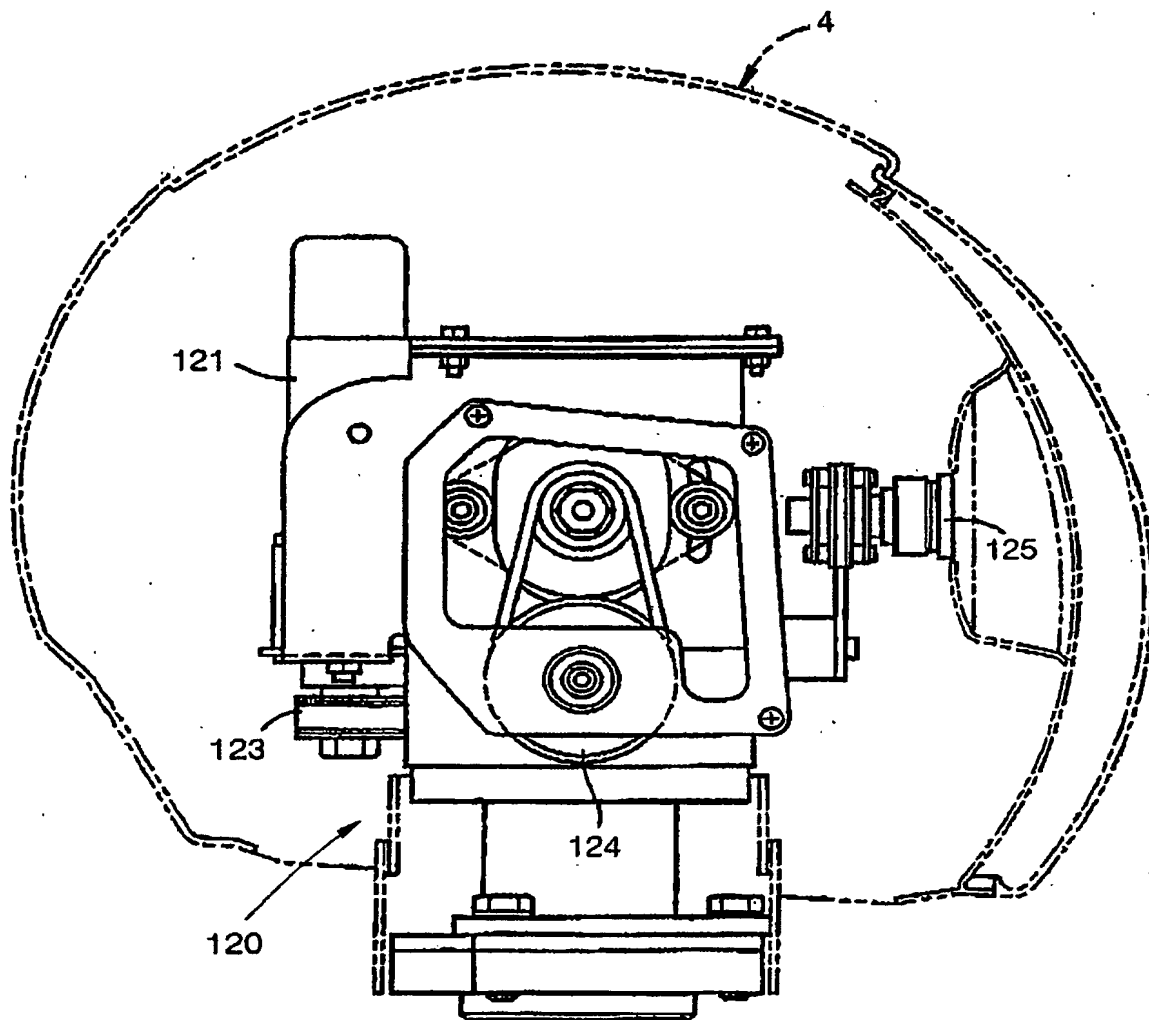
【図 23】

FIG. 23



【図 24】

FIG. 24



【図 25】

FIG. 25

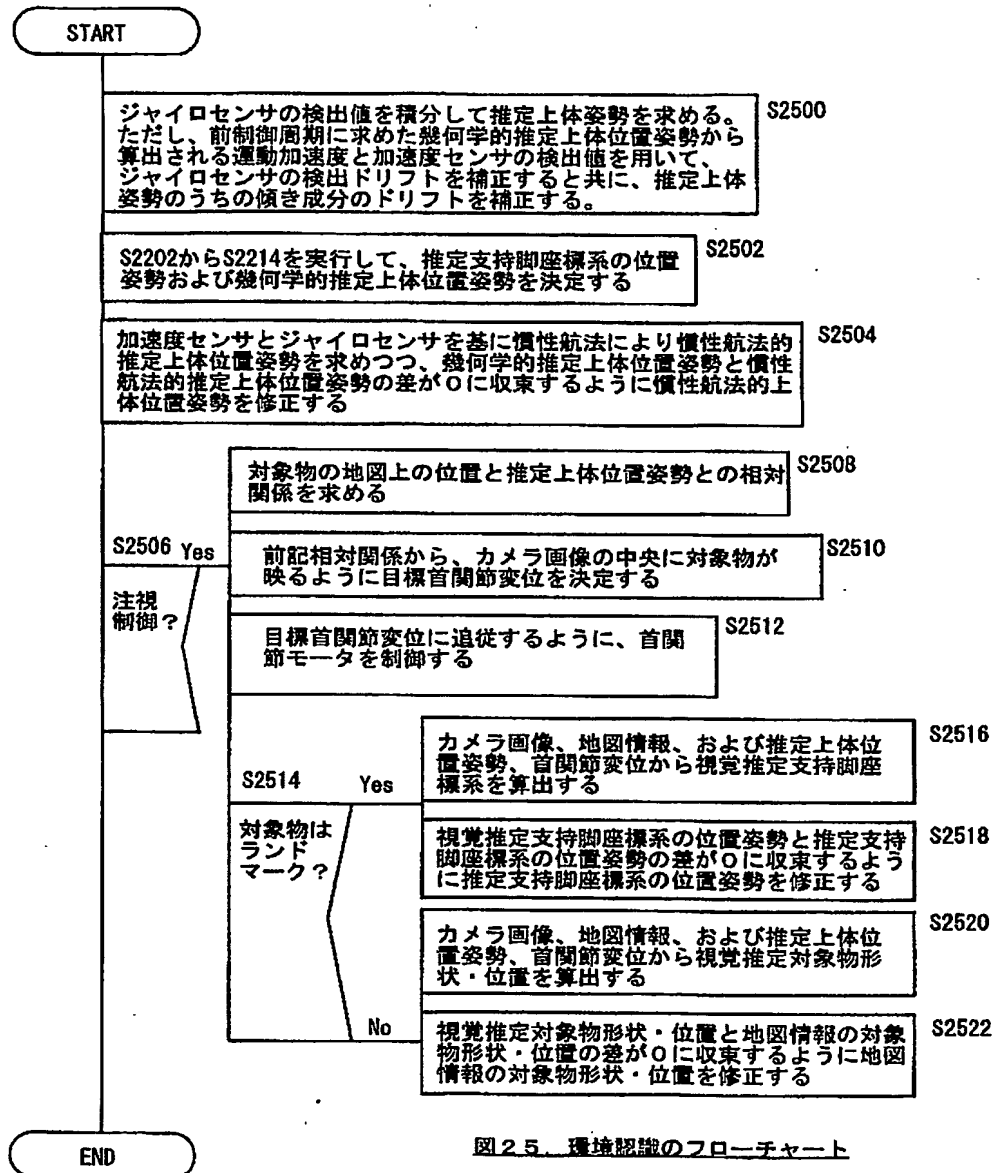


図 25. 環境認識のフローチャート

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ロボットの自己位置姿勢を精度良く推定する。

【解決手段】 ロボット 1 の所定の部位の姿勢を検出あるいは推定する姿勢検出手段、前記検出あるいは推定された姿勢と前記目標動作における前記所定の部位の姿勢との差ないしは前記差の変化速度の少なくともいずれかに基づいて、姿勢回転摂動量ないしは姿勢回転速度摂動量を決定する姿勢回転摂動決定手段、姿勢回転摂動の回転中心を決定する回転中心決定手段、目標動作に追従しているロボット 1 が、あるいは目標動作通りの上体姿勢を維持しつつ、少なくとも関節変位検出値のとおり運動している前記ロボット 1 が、前記回転中心まわりに前記回転摂動量に相当する角度ないしは前記姿勢回転速度摂動量に相当する角速度によって回転したと想定して、前記ロボット 1 の接地（着地）位置ないしは所定の部位の位置の少なくともいずれかを推定する位置推定手段、を備える。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005326]

1. 変更年月日 1990年 9月 6日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都港区南青山二丁目1番1号  
氏 名 本田技研工業株式会社